

단일 주파수 GPS 사용자에서의 전리층 전파특성 분석

(Performance Analysis of Ionospheric Time Delay for Single-Frequency GPS Users)

박성경* · 강창언*

(Seong Kyeong Park · Chang Eon Kang)

요약

자신의 위치를 파악하는 전자항해 시스템 중에서도 저궤도 위성인 GPS 위성을 이용한 위치측정 방식은 지구상 어느곳에서 언제든지 고정밀 3차원의 전천후 실시간 위치측정이 가능한 방식이다. 이 GPS 위성의 전파가 통과하게 되는 전리층의 변화를 분석하기 위하여 전리층 변동에 따른 현상을 관측하여 GPS 위성에 의한 위치 측정오차와 전리층 변화와의 관계를 모델링하여 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 사용하여 시간, 양각, 방위각 등을 변화시켜 가면서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과 제안한 단일주파수 GPS 사용자일 경우에 전리층 시간지연은 어느정도의 오차가 존재하지만 실제 실험에 의한 시간지연이 5~6nsec이고 본 논문에서의 결과가 상태가 양호한 경우에는 5~7nsec정도까지 근접함을 알 수 있었다. 이것은 본 논문에서의 전리층 전파특성 알고리즘이 실제 실험 결과치와 근사하게 일치함을 나타낸다.

Abstract

Through the low orbit GPS satellite 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.

I. 서론

오랜 옛날부터 사람들은 하늘의 별을 관측함으로써

자신의 위치를 파악하였으며 이를 통하여 바다에서의 머나먼 항해를 해 왔다. 그러나 그후 여러종류의 전자항해 시스템이 출현했는데 그 중에서도 위성을 이용한 위치측정 방식은 지구상 어느곳에서 언제든지 고정밀의 위치측정이 가능한 NAVSTAR /GPS(NAVigation

* 연세대학교 전자공학과
Dept. of Electronics Engineering, Yonsei University

System with Time And Ranging/Global Positioning System)이다. 이것은 PN코드를 사용한 대역확산 통신방식을 적용한 방식으로서 21개의 위성과 3개의 예비위성으로 6개의 저궤도(20,183km)에 각각 4개의 위성을 배치 할 계획이며 앞으로 24개의 모든 위성을 발사할 예정이다[7].

본 연구는 GPS 위성을 이용한 위치측정 방식에서, 전파가 통과하게 되는 전리층의 변화에 의한 위치측정 오차와 전리층 변화와의 관계를 모델링하였으며, 특히 기존의 연구에서는 주로 북미 지역에서의 결과 [5, 6]인데 반해, 본 연구에서는 한반도 중부지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다.

II. 위성을 이용한 위치 측정 방식(GPS)

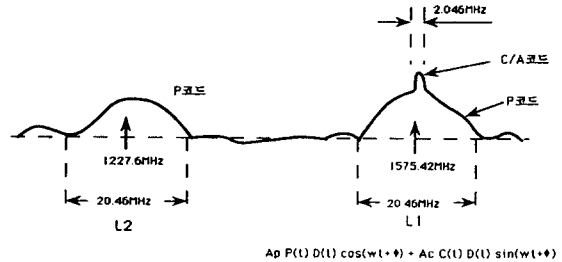
2.1. 개요

망망대해를 항해하는 선박이 자신의 현재 위치를 확인하기 위해 오래전부터 이용해온 방법은 맑은날 밝 하늘에 빛나는 성좌의 방위를 관측하여 항로를 정하는 것으로서, 이를 천문 항법이라 한다. 그후 전파 이용기술의 발달에 따라 주야 관계없이, 또는 기상조건의 영향도 받지 않는 LORAN, DECCA, OMEGA등의 전파항법이 널리 이용되어 왔는데, 이러한 시스템은 육상에 설치된 다수의 송신국으로부터 전파를 수신해서 거리를 구함으로써 현재의 위치를 파악하였다[7, 8].

GPS 시스템은 크게 우주부분(Space Segment)와 사용자 부분(User Segment), 그리고 제어 부분(Control Segment)으로 나눌 수 있다. 우주부분은 6개의 궤도에 21개의 위성과 3개의 예비위성을 포함해서 총 24개의 위성으로 구성되며 A, B, C, D, E, F의 궤도 평면에 4개씩 실려서 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. 제어부분은 1개소의 주 제어국과 5개소의 감시국 및 지상안테나로 구성되며 주

제어국은 각 위성의 위치계산 및 궤도 예측과 GPS 시각의 유지 및 제어 그리고 위성의 궤도 조정 및 작동 상태 등을 감독한다. 이들 제어부분에서는 GPS 위성을 정확하게 추적하여 궤도 수정 자료와 위성 클럭에 대한 바이어스 요소를 주기적으로 위성에 보낸다.

GPS 신호의 구성은 기본 주파수는 $f_0 = 10.23(\text{MHz})$ 이고 2개의 송신 주파수를 사용하며 3개의 변조신호를 사용한다. 송신 주파수 신호는 2가지의 직접 대역확산(DS/SS: Direct Sequence /Spread Spectrum) 신호 (L_1, L_2)를 위성에서 지상으로 전송하며 변조신호는 C/A코드, P 코드, Y 코드, NAV 메시지 등의 4종류가 있으며 P 코드와 C/A 코드 그리고 L_1 과 L_2 신호에 대한 스펙트럼을 [그림 1]에 나타내었다.



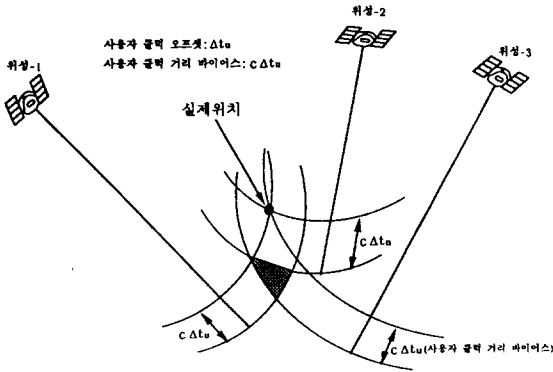
[그림 1] GPS위성의 송신신호 스펙트럼

[Fig. 1] GPS Signal Power Spectral density

2.2 위치 측정 방법 및 데이터 구조

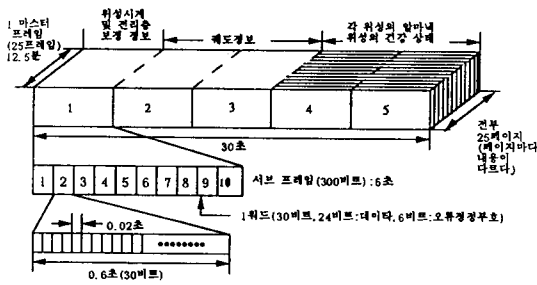
위치결정방법을 보면 좌표는 지구 중심을 원점으로 하는 직각좌표를 사용하며 사용자의 미지 위치를 u_x, u_y, u_z 라 하고 i 번째 위성의 알고있는 위치를 X_i, Y_i, Z_i 라 한다면 식(1)은 수신기가 사용자의 위치, 위성위치, 미지의 거리 오차를 포함한 의사거리와 관계된 식이다. 그리고 이 식과 관계된 것을 [그림 2]에 나타내었다.

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



[그림 2] 의사거리에 대한 도식적 표현
[Fig. 2] Pseudo-Range

그리고 GPS 위성에서는 궤도정보와 시간, 그리고 C/A 코드에서 P 코드로의 전환을 위한 정보 등 각종 메시지를 지상으로 보낸다. 항법신호는 [그림 3]에서 보인것처럼 하나의 데이터 프레임이 1500비트의 크기이며, 이것을 50bps의 속도로 전송하고 있다. 1개 데이터 프레임은 각각 300비트 길이의 5개 서브프레임으로 구성되며, 각 서브프레임의 시간길이는 6초, 따라서 1개 데이터 프레임은 30초이다. 각 서브프레임은 다시 10개의 워드(word)로 구성되고, 각 워드의 길이는 30비트이다. 각 서브프레임의 나머지 8개 워드는 지상제어부에서 만들어지는 사용자용 항법 데이터이다.



[그림 3] 항법신호의 구조
[Fig. 3] The GPS Navigation Message Format

III. GPS 시스템의 변조방식

3.1. 대역확산(Spread Spectrum: SS) 통신방식

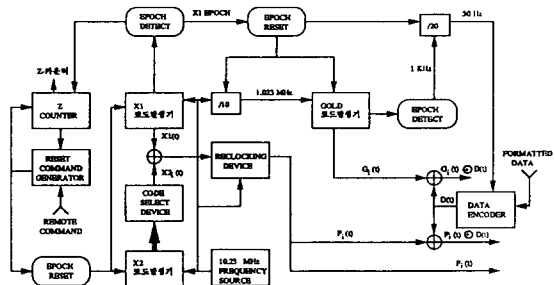
대역확산 통신방식의 근본원리는 1949년 C.E. Shannon이 발표한 통신용량(Channel capacity)의 개념으로 설명될 수 있다. 통신용량은 주어진 통신로를 통하여 매초당 보낼 수 있는 정보의 최대치를 말한다. 통신로로 보낼 수 있는 정보의 전송속도는 이 통신로의 대역폭과 신호전력 및 잡음전력에 의하여 결정된다. 통신로의 주파수 대역폭을 W 라 하고 신호전력을 S , 잡음전력을 N 이라하면 통신용량 C 는 식(2)로 표현한다.

$$C = W \cdot \log_2(1 + \frac{S}{N}) \quad (2)$$

대역확산 통신방식에서는 대역폭을 매우 크게 함으로써 신호대 잡음비가 아주 작은 경우 즉, 잡음이나 방해신호의 영향이 심각한 경우에도 식(2)로부터 충분한 통신용량을 유지하여 통신을 가능하게 한다[1].

3.2. GPS 시스템의 PN부호 특성

[그림 4]에 10.23Mbps인 $P_1(t)$ 코드(P 코드)와 1.023Mbps인 $G_1(t)$ 코드(C/A 코드)를 발생하는 블럭도를 나타내었다. 여기에서 네비게이션 데이터 $D(t)$ 는 50bps로 되어있으며 이것과 모듈로-2 합이 되며 그후에 L 대역 주파수로 변조된다.



[그림 4] GPS 시스템의 PN 코드발생과 변조신호의 블럭도

[Fig. 4] Generation of Codes and Modulating Signals

P 코드는 $X_1(t)$ 와 $X_2(t-iT)$ 인 PN 코드의 모듈로-2 합에 의해 생성되며 여기에서 T 는 P코드의 주기(1.023×10^7)⁻¹초이며 i 는 1~37까지의 정수이다. 따라서 정수

i는 동일한 코드 발생기에 의해서 37개의 $P_i(t)$ 코드 위상을 생성할 수 있음을 나타낸다. C/A 코드는 두개의 1023비트인 선형 PN 코드인 G_1 과 G_2 의 모듈로-2 합에 의해 생성되며 G_2 는 C/A 코드 형태가 36개의 칩 지연을 선택할 수 있다.

3.2.1. P코드 발생

각각의 $P_i(t)$ 는 10.23Mbps의 X_1 과 X_2 의 모듈로 -2 합에 의해 생성되는데 여기서 X_1 은 4092칩인 X_{1A} 와 4093칩인 X_{1B} 인 12-쉬프트 레지스터의 모듈로-2 합에 의해 생성된다. 쉬프트 레지스터를 사용할때 X_{1A} 와 X_{1B} 생성다항식을 식(3)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} X_{1A} &= 1 + X^6 + X^8 + X^{11} + X^{12} \\ X_{1B} &= 1 + X^1 + X^2 + X^5 + X^8 + X^9 + X^{10} + X^{11} + X^{12} \end{aligned} \quad (3)$$

M-시퀀스 PN 코드에서 12개의 쉬프트 레지스터의 최대주기는 $2^{12}-1=4095$ 으로 실제로는 줄여서 사용하는데 그 이유는 X_1 주기에서 X_{1A} 주기동안 X_{1A} 와 X_{1B} 의 세차(precession)의 영향에 의한 오차를 줄이기 위해서이다.

X_2 시퀀스는 초기의 X_2 시퀀스가 1부터 37까지의 칩의 지연에 의해서 생성된다. 이 X_2 와 X_1 가 모듈로-2 합이 되어 37종류의 PN 코드를 생성하게 된다. X_{2A} 와 X_{2B} 에 X_2 코드가 생성되며 X_{1A} 와 X_{1B} 의 경우와 같이 4092칩과 4093칩을 주기로 하며 X_{2A} 의 3750번 순환후 에포크 된다. X_{2A} 와 X_{2B} 의 생성 다항식은 다음식과 같다.

$$\begin{aligned} X_{2A} &= 1 + X + X^3 + X^4 + X^5 + X^7 + X^8 + X^9 + X^{10} + \\ &\quad X^{11} + X^{12} \\ X_{2B} &= 1 + X^2 + X^3 + X^4 + X^8 + X^9 + X^{12} \end{aligned} \quad (4)$$

3.2.2. C/A 코드 발생

각각의 $G_i(t)$ 시퀀스는 1023 비트의 골드코드이며 G_1 과 G_2 인 두 코드가 모듈로-2 합에 의해 생성되며 G_2 시퀀스는 5부터 950까지의 칩 지연에 의해 생성된다. 그리고 이들은 10개의 쉬프트 레지스터에 의해 구

단일 주파수 GPS 사용자에서의 전리층 전파특성 분석 성되며 생성다항식은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} G_1 &= 1 + X^3 + X^{10} \\ G_2 &= 1 + X^2 + X^3 + X^6 + X^8 + X^9 + X^{10} \end{aligned} \quad (5)$$

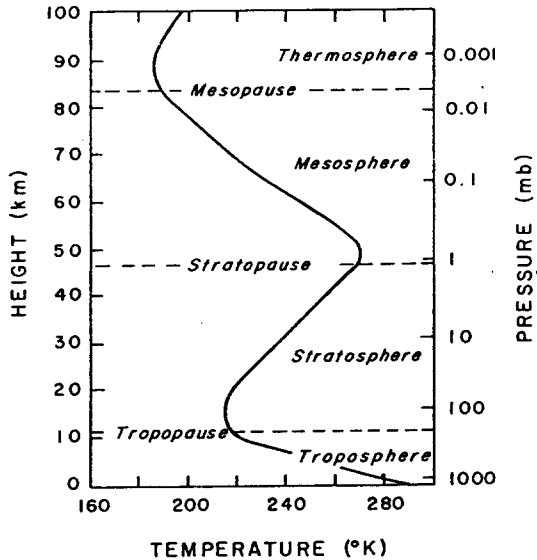
G_1 과 G_2 레지스터는 P 코드 클럭인 10.23MHz로부터 1.023MHz를 만들어서 클럭으로 사용하며 이것은 X_1 에포크에 의한 초기화에서 C/A 코드와 P 코드의 첫번째 칩이 동시에 시작되게 된다. G_2 를 생성하는 G_2 의 시간지연은 G_2 의 두개의 출력을 모듈로-2 합으로 되는데 여기서 36종류의 조합을 만들어서 P 코드의 종류와 대응되게 하였다.

IV. 전리층의 전파전파 특성

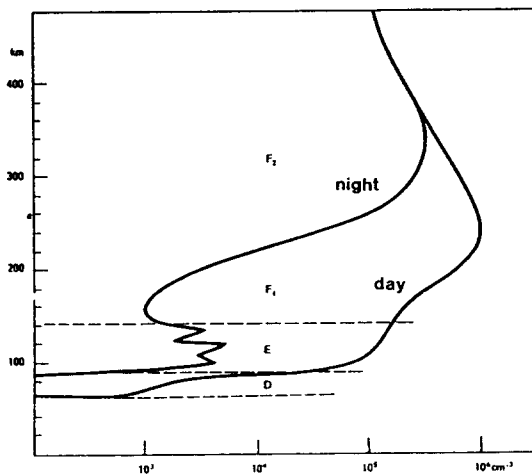
GPS 위성은 지상으로 20,183km 상공에서 지구를 선회하고 있으며 GPS 수신기는 지구중심과 위성사이에 위치해 있다. 따라서 GPS 위성과 수신기 사이의 채널은 자유공간이 되고 이 공간은 크게 전리층과 비전리층으로 나누게 되는데 전파는 이러한 전리층과 비전리층을 지나면서 흡수, 분산, 지연 등 여러가지의 영향을 받게 된다[6, 7]. 그러나 여기에서는 비전리층의 영향은 무시하고 전리층의 영향만 고려하여 살펴보았다. 대기권(atmosphere)을 온도에 의한 구분을 [그림 5]에, 전자밀도에 의한 전리층의 구분을 [그림 6]에 나타내었다[8].

전리층이란 지구표면 상공 약50km~2000km에 존재하며 대기의 이온화된 영역을 말하며 VHF 대역 이상 주파수의 신호는 이 전리층을 통과할때 각도의 변화에 따라 수정 및 열화를 나타나게 된다. 전리층은 시간과 장소에 따라 전자밀도가 변하며 그 정도에 따라 보통 D층, E층, F(F_1 , F_2)층으로 구분된다. 그 중에서도 E층위에 있는 F은 지상에서 130km이상에 존재하며 주간에는 다시 F_1 층과 F_2 층으로 나뉘어지고 F_1 층의 전자밀도는 $2 \times 10^{11}/m^3$ 이며 고도는 130~200km에 존재하며(Chapman 모델), F_2 층의 전자밀도는 $10^{12}/m^3$ (낮)~ $5 \times 10^{10}/m^3$ (밤)이다. 또한 F_2 층은 바람, 확산, 다른 역학적인 효과에 강하게 영향받기 때문에 모델에 어려움이 있다.

전리층의 상태를 살펴보면 최대전자밀도 높이가 이상 고도에서는 고도가 높아짐에 따라 전자밀도는 지수함수 적으로 감소한다. 그리고 약 1000km에서는 대개 0^+ 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.



[그림 5] 대기권의 온도에 의한 구분
[Fig. 5] Vertical Temperature Profile



[그림 6] 대기권의 전자밀도에 의한 구분
[Fig. 6] Vertical Profile of the Concentration of Free Electrons

V. 전리층 시간지연 알고리즘

5.1. 개요

위성 네비게이션 시스템은 사용자의 위치와 이동속도를 4개의 위성을 이용해서 측정할 수 있다. 여기에서 사용하는 위성의 기본 주파수는 L_1 캐리어인 1.575GHz이며 이 주파수 대역의 전파는 전리층을 통과 할 때 속도 변화에 의한 시간 지연이 최악의 경우에 300ns 차이가 나는데 이것은 100m의 오차를 나타내며, 전리층 지연에 의한 월 평균값의 최대치는 150ns(50m)의 오차가 나타남을 시험을 통하여 알고있다[5, 6]. 전리층에 의한 영향을 제거하기 위해서 제2의 주파수인 L_1 캐리어인 1.227GHz를 사용하여 보정하는데 그러한 2개의 주파수를 사용할 수 없는 사용자는 전리층에 의한 시간 지연을 보정할 수가 없다.

전파가 전리층을 통과할 때 생기는 전리층 시간지연에서 중요한 파라미터는 위성과 사용자간의 전파로 상에 있는 전체 전자량(TEC)이다.

5.2 전리층 시간지연 알고리즘의 형태

단일 주파수 GPS 시스템 사용자에 대한 알고리즘은 사용자의 위도에 따른 시간지연의 크기와 주기의 변화가 하루동안의 값으로 코사인(cosine)형태로 [그림 7]에 나타내었다. 그림에서 보면 4종류의 파라미터 값이 있는데 그 종류는

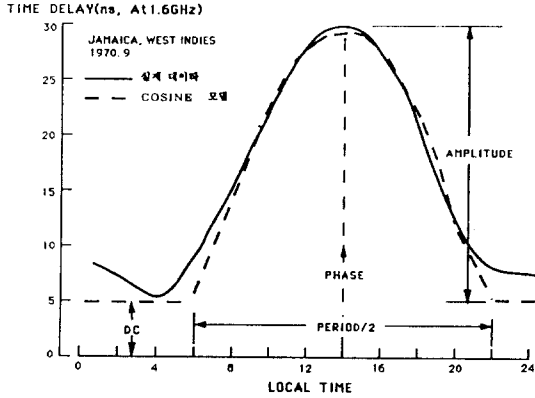
- ① 야간(밤)시간의 정수값(직류값)
- ② 코사인 형태의 진폭(amplitude)값
- ③ 코사인 형태의 위상(phase)값
- ④ 코사인 형태의 주기(period)값

등이 있다. 근사화 시킨 알고리즘에서 직류값과 위상값은 에러가 약간 증가하기는 하지만 정수(constant)로 근사화 시킬 수 있다.

5.3 전리층 시간지연 알고리즘의 기하학적 근사화

전리층 시간지연 모델의 코사인 형태는 사용자의 지리적인 위치, 시간, 천정각을 계산하는 기하학적인 계산

방법을 근사화 하게 되므로 비교적 간단하다. 그러나 실제로 GPS 위성은 사용자에게 대하여 수직인 경우는 거의 없고 대부분 경사져 있으므로 단일 주파수를 사용하는 경우에 수직인 전리층의 시간지연 모델을 이용할 수는 없다. TEC는 지리적(geodetic)인 좌표가 아니라 지자기(geomagnetic)의 좌표에 영향을 받기 때문에 지리적인 위도를 지자기 위도로 변환시켜야 한다.



[그림 7] 실제의 월평균 시간지연 값과 코사인 모델의 예

[Fig. 7] Example of actual Monthly average time-delay data along with cosine model fit data

먼저 지구 중심각(Earth Angle)은 전리층에 의한 시간지연을 모델링 할 때 TEC의 값을 측정하여 모델링 해야 하는데 이 TEC는 관측자의 위치에서가 아니라 위성의 전파가 전리층의 평균고도를 횡단하는 면에서 측정해야 한다. 지리적인 위도를 지자기 위도로의 변환은 지구의 자기장이 지구를 중심으로한 쌍극자석이라는 가정을 하여 성립하며 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin\Phi = \sin\Phi \sin\Phi_p + \cos\Phi \cos\Phi_p \cos(\lambda - \lambda_p) \quad (6)$$

또한 경사요소(Slant Factor)를 계산해야 하는데 전리층 횡단지점에서의 전파의 수직횡단 시간지연은 전리층의 평균 고도에서 천정각의 secant로 정의되는 경사요소를 곱하므로써 수직전파 이외의 경사전파인 경우에 대한 계산을 할 수 있다. 그리고 위성에서 보내오는 메세지 중에서 계수 값을 다음 <표 1>에 나타내었다[7].

<표 1> 전리층 시간지연 모델에 적용되는 위성 메세지 계수값의 예

<Table 2> Typical Ionospheric Model Terms and Values

항목	단 위	겨 울	봄	여 름	가 울
α_0	sec	7.9E-9	9.2E-9	4.3E-9	1.2E-8
α_1	sec/SC	-8.9E-9	1.8E-8	1.2E-8	-2.3E-9
α_2	sec/SC ²	-6.2E-8	-7.2E-8	-3.4E-8	-9.2E-8
α_3	sec/SC ³	7.0E-8	-1.2E-7	-8.8E-8	2.1E-8
β_0	sec	8.8E+4	8.7E+4	8.0E+4	9.3E+4
β_1	sec/SC	-2.7E+4	5.0E+4	6.3E+4	-1.5E+3
β_2	sec/SC ²	-1.7E+5	-1.6E+5	-8.3E+4	-2.2E+5
β_3	sec/SC ³	1.9E+5	-3.3E+5	-4.1E+5	1.5E+4

5.4. 알고리즘의 종합

단일 주파수 L₁ 캐리어를 사용한 GPS 사용자에 대한 전리층 시간지연 알고리즘에서 Φ_u 는 사용자의 지리적 위도이고 λ_u 는 사용자의 경도, E는 사용자와 GPS 위성 간의 양각(elevation angle), A는 사용자와 위성간의 방위각(azimuth angle)이다. 근사화된 코사인 모델의 전리층 시간지연 값은 다음 식(7)과 같다.

$$T_{iono} = DC + AMP \cos \frac{2\pi(T - T_p)}{PER} \quad [seconds] \quad (7)$$

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

$$\Psi = \frac{0.0137}{E + 0.11} - 0.022 \quad [semicircles] \quad (8)$$

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

$$\Phi_l = \Phi_u + \Psi \cos A \quad [semicircles] \quad (9)$$

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

$$\lambda_l = \lambda_u + \frac{\Psi \sin A}{\cos \Phi_l} \quad [semicircles] \quad (10)$$

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

$$\Phi_m = \Phi_l + 0.064 \cos(\lambda_l - 1.617) \quad [semicircles] \quad (11)$$

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

$$F = 1 + 16(0.53 - E)^3 \quad (12)$$

이다. 그리고 시간(Local Time)계산은 전리층 평균고도 350km에서 전파가 수직횡단시의 시간

$$t = (4.32 \times 10^4) \lambda_l + GPS \text{ time} \quad [seconds] \quad (13)$$

으로 된다. 위 식에서 $0 \leq t \leq 86,400[seconds]$ 이다. 다음 진폭(AMP)은 코사인 모델에서 전파의 수직 방향 시간 지연시의 진폭으로 3차 다항식으로 표시되며

$$AMP = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \alpha_n \Phi_m^n, & AMP \geq 0 \\ 0, & AMP < 0 \end{cases} \quad [seconds] \quad (14)$$

이고 주기(PER)는 코사인 모델의 주기로서

$$PER = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \beta_n \Phi_m^n, & PER \geq 72,000 \\ 72,000, & PER < 72,000 \end{cases} \quad [seconds] \quad (15)$$

이다. 그리고 위상(X)은

$$X = \frac{2\pi(t - 50,400)}{PER} \quad [rad] \quad (16)$$

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

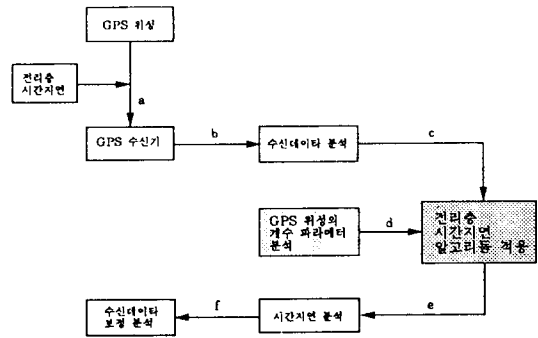
$$T_{iono} = \begin{cases} F \left[5 \times 10^{-9} + AMP \left[1 - \frac{X^2}{2} + \frac{X^4}{24} \right] \right], & |X| < \frac{\pi}{2} \\ F \left[5 \times 10^{-9} \right], & |X| \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad [seconds] \quad (16)$$

이다. 단, 앞에서 사용한 모든 식의 단위는 [semicircles]

로 변환후 계산해야 한다.

5.6. 시스템 구성

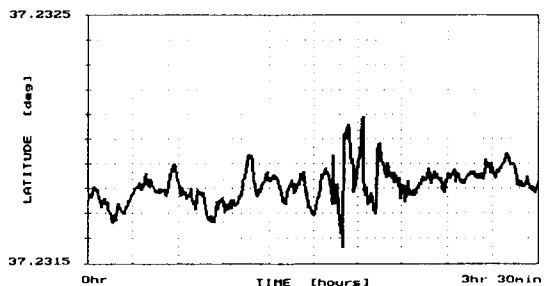
제한한 알고리즘의 성능을 분석하기 위한 GPS 시스템을 구성하였는데 [그림 8]에 시스템의 구성도를 나타내었다.



[그림 8] 시스템 구성도

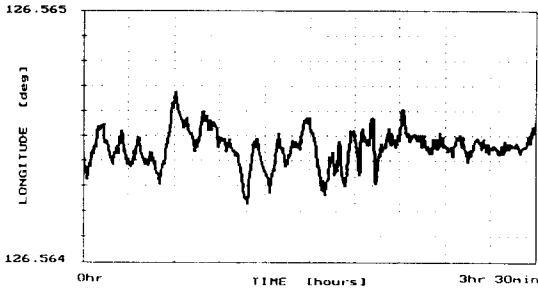
[Fig. 8] System Blockdiagram

여기에서 실제 시뮬레이션한 GPS 수신 데이터는 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터이며 이 시간동안의 위도 변화와 경도의 변화값을 [그림 9]와 [그림 10]에 나타내었다. [그림 9]을 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 8]에서 (c)의 그림이다. 또한 [그림 10]을 보면 역시 3시간 30분 동안의 경도변화



[그림 9] GPS 수신 데이터의 위도 변화

[Fig. 9] Latitude Variation of GPS data



[그림 10] GPS 수신 데이터의 경도 변화
[Fig. 10] Longitude Variation of GPS data

를 나타내는데 실제의 경도는 대략 126.56으로 알려져 있으며 그림에서 보면 126.564와 126.565 사이에서 진동하며 평균값은 126.5644 정도이다.

5.7. 실험 및 결과 고찰

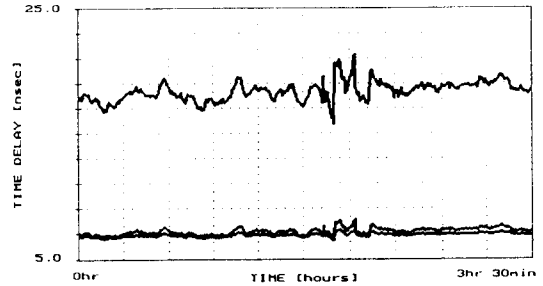
컴퓨터 시뮬레이션은 [그림 8]과 같은 시스템으로 구성하여 실험하였으며 <표 2>에 그 파라메타들을 나타내었다.

<표 2> 시스템 파라메터
<Table 2> System Parameter

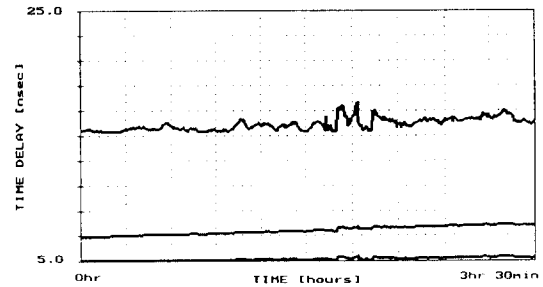
시 간	0 ~ 3시간 30분
실 제 위 도	약 37.23°
실 제 경 도	약 126.56°
Elevation angle 변화값	0° ~ 90°
Azimuth angle 변화값	0° ~ 360°
GPS 위성의 계수값의 기준(α_m, β_n)	북미지역에서의 β_n 을 기준으로 계절별 α_n 적용

컴퓨터 시뮬레이션은 작성한 S/W의 전파특성을 알아보기 위하여 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 입력하는 방법과 그외의 파라메터를 기준으로 하여서 모두 4가지 종류에 대하여 실험하였으며 그 결과로써 나타나는 전리층 시간지연의 단위는 나노초(nsec)로 나타내었다. 첫번째 시뮬레이션은 GPS수신 데이터를 GPS 위성의 계수값을 계절별로 분

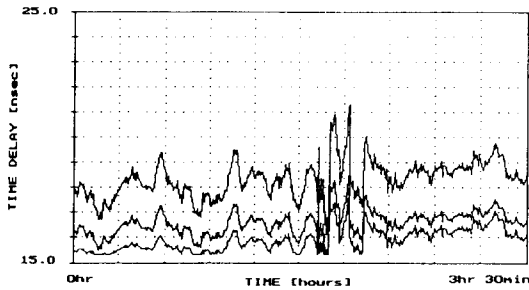
리하여 전리층 시간지연을 결과로 실험하였다. 그 결과를 보면 [그림 11]은 계절이 겨울인 경우인데 시간지연이 18nsec를 기준으로 있는 것이 약각 5°이며 그 밑의 선인 7nsec 부근은 45°이고 그 밑은 90°인 경우는 5와 7nsec 사이의 값을 나타낼을 알 수 있다. 이것은 우리나라가 6-7nsec[5] 정도의 전리층 시간지연을 나타내므로 모델링과 실제값과 근사하게 일치함을 나타낸다. [그림 12]는 계절이 여름인 경우에 대한 전리층 시간지연 값이며 양각이 커질수록 시간지연이 감소함을 알 수 있다. 다음 [그림 13]과 [그림 14]는 양각을 고정시키고 계절을 변화하여 시간지연을 비교한 값이며 먼저 [그림 13]을 보면 양각이 5°인 경우에 시간지연이 가장 큰 것은 겨울이며 약간 작은 것은 가을이고 더 작은것은 여름과 가을임을 알 수 있다. 또한 [그림 14]를 보면 양각이 45°인 경우이며 봄이 약간 크지만 모두 거의 비슷한 결과를 나타낸다.



[그림 11] GPS 수신 데이터를 적용한 전리층 시간지연(겨울, 양각변화)
[Fig. 11] Ionospheric Time Delay for GPS data(Winter, Elevation angle: Variation)

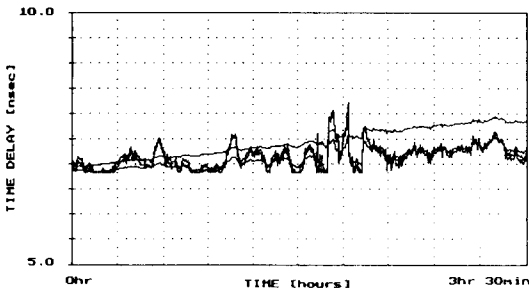


[그림 12] GPS 수신 데이터를 적용한 전리층 시간지연(여름, 양각변화)
[Fig. 12] Ionospheric Time Delay for GPS data(Summer, Elevation angle: Variation)



[그림 13] 데이터를 적용한 전리층 시간지연
(앙각: 5°, 계절변화)

[Fig. 13] Ionospheric Time Delay for GPS data
(Elevation angle: 5°, Winter: Variation)



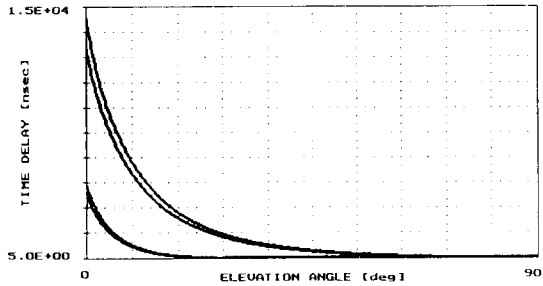
[그림 14] 데이터를 적용한 전리층 시간지연
(앙각: 45°, 계절변화)

[Fig. 14] Ionospheric Time Delay for GPS data
(Elevation angle: 45°, Winter: Variation)

다음 시뮬레이션은 위도를 35.23°, 경도를 126.56°로 고정하고 방위각을 5°, 45°, 90°로 하여 앙각을 0°~90°까지 변화시켜가면서 시간지연을 결과로써 나타내었다. 먼저 [그림 15]은 방위각을 90°로 고정하여 계절별로 앙각을 변화시켰을 때의 시간지연이다. 그림에서 보면 위에서 부터 겨울, 가을, 여름, 봄 순으로 지연시간이 점점 더 작은 값으로 나타났으며 앙각이 작은 경우에는 시간지연이 매우 큰 값으로 되며 앙각이 증가할수록 시간지연이 5nsec로 접근함을 알 수 있다.

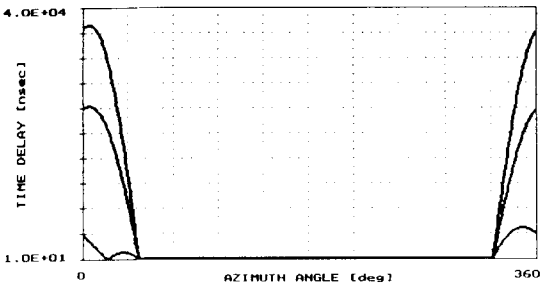
다음 시뮬레이션은 위도와 경도, 시간은 두번째 시뮬레이션과 동일하게 하고 앙각을 5°, 45°, 90°로 하고 방위각을 0°~360°까지 변화시키면서 시간지연을 결과로써 나타내었다. 먼저 [그림 16]은 앙각을 5°로 하여 계

절별로 방위각 변화시의 시간지연이다. 그림에서 보면 위에서 부터 겨울, 가을과 봄, 여름순이며 봄과 여름은 크기가 동일하게 나타났다. 방위각이 0°와 360°에 근접할수록 시간지연이 큰 값이며 약간 대칭되어 있음을 알 수 있다.



[그림 15] 방위각 90°일때 계절별 앙각 변화시 시간지연(계수: 90°)

[Fig. 15] Ionospheric Time Delay for Elevation angle variation (Azimuth angle: 90°, Coefficient: 90°)



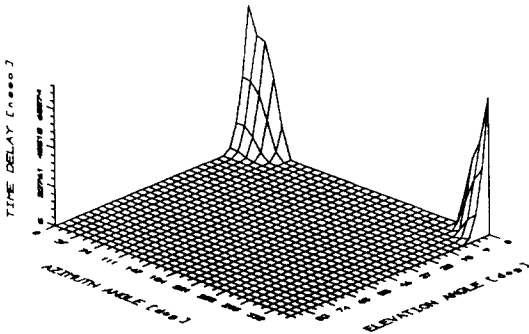
[그림 16] 앙각 5°일때 계절별 방위각 변화시 시간지연 (계수: 5°)

[Fig. 16] Ionospheric Time Delay for Azimuth angle variation (Elevation angle: 5°, Coefficient: 5°)

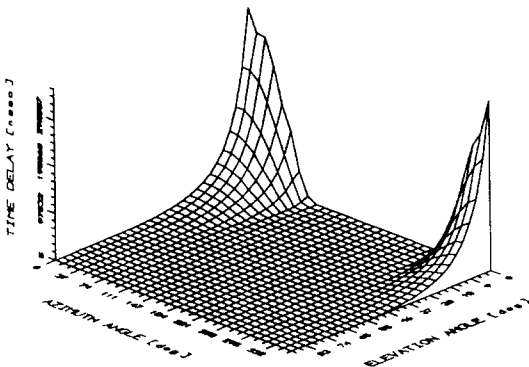
마지막 시뮬레이션은 3차원 그림으로서 위도와 경도, 시간을 두번째와 세번째 시뮬레이션과 같이 모두 고정시키고 앙각을 0°~90°까지 변화시키고 방위각을 0°~360°까지 변화시켜 가면서 시간지연을 결과로써 나타내었다. [그림 17]를 보면 계절이 겨울시에 앙각과 방위각을 변화시켰을 경우의 시간지연인데 앙각은 10°이하에서 방위각은 0°와 360°에 근접할 수록 시간지연이 커짐

을 알 수 있다. 다음 [그림 18]은 계수를 45°로 하였을 경우 가을일 때의 시간지연인데 [그림 17]보다 시간지연의 변화가 완만하여 시간지연이 큼을 알 수 있다.

지금까지 제한한 단일주파수 GPS 사용자일 경우에 전리층 시간지연의 특성을 알아보기 위하여 S/W를 작성하여 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 사용하여 시간, 양각, 방위각 등도 변화시켜 가면서 그 특성을 알아 보았다. 그 결과 어느 정도의 오차가 존재하지만 양호한 경우에는 5~7nsec 정도 까지 접근함을 알 수 있었다. 이것은 본 연구에서 작성한 전리층 전파특성 S/W가 실제 실험 결과치와 근사하게 일치함을 나타낸다.



[그림 17] 계수 5°일때 겨울시의 시간지연
[Fig. 17] Time Delay for Coefficient 5° (Winter)



[그림 18] 계수 45°일때 가을시의 시간지연
[Fig. 18] Time Delay for Coefficient 5° (Fall)

그러나 본 연구에서 사용한 C/A코드가 어느정도 오차를 포함하고 있으며 95% 정밀도에 9.8~19.6[m]의

오차를 갖는다[7]. 이것은 32.6~65.2[nsec]에 해당하는 것으로 C/A코드만으로 구성된 GPS 시스템은 본 연구 결과보다 최대 5~10배의 오차를 포함한다고 할 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 저궤도 위성인 GPS 위성을 이용하여 지구상 어느 곳에서 언제든지 고정밀의 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 6~7nsec정도이고 본 S/W의 시간지연은 성능이 양호한 경우에는 대략 5~7nsec에 근접하므로 본 S/W가 실제 실험치와 근사하게 일치함을 알 수 있었다. 앞으로 계속하여 본 S/W가 실제로 GPS 수신기의 성능을 향상시키는데 대하여 알아보기 위하여 실제 시스템에 적용한 실험이 이루어져야 하며 더욱 향상된 전파특성 모델링 개발과 또한 두개의 주파수 사용자인 L₂를 사용했을 때의 전파특성 모델링에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

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 Pro-

- gram 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*, June 1991.
 8. Alain Giraud, Michel Petit, *Ionospheric Techniques and Phenomena*, D.Reidel Publishing Company, 1978.