한국측량학회지, 제 26권 제 4호, pp. 397～405(2008년 08월 31일)

시뮬레이션을 통한 GPS 오차의 영향 분석
Analysis of the GPS Error Effect through Simulation

전재한[1] · 권재현[2] · 이지선[3]
Jeon, Jae Han · Kwon, Jay Hyoun · Lee, Ji Sun

Abstract

The position accuracy is primarily dependent on the satellite position and signal delay caused by several elements. To know the effect of the delay on the estimated positions, we simulated GPS raw data (RINEX) with GPS errors using Bernese ver5.0. GPS errors used in this paper are Ionospheric delay, Cycle slip, Troposphere, DOP and Random error. If the baseline is short, the position error according to TEC is not large, since the ionospheric delay effect can be removed by ion-free combination. However, if the baseline is long, 3 dimensional position error up to 10cm is occurred. The 3D position error of coordinates with cycle slip is hardly ever changed up to 60% of cycle slip. Because the simulated cycle slips are equally distributed on satellites, the positioning was not seriously affected by the cycle slip. Also, if percentage of cycle slip is 60%, three dimensional error is sharply increased over 1m. The position error is calculated by using the observation data (2 hours) which was selected by DOP less than 3. And its accuracy is more improved about 3~4cm.

Keywords : GPS, position accuracy, GPS error, simulation data

초 록

한 지점의 위치에 대한 정확도는 위성의 위치와 몇 가지 요인으로 인하여 발생하는 신호의 지연 등에 주로 의존하게 된다. 이러한 지연의 효과가 3차원 위치 오차에 미치는 영향을 분석하기 위하여 GPS 오차를 포함하는 GPS 관측 파일(RINEX)을 시뮬레이션 하고, 시뮬레이션된 관측 파일을 기선 처리하여 그 효과를 분석하였다. Bernese ver5.0을 이용하여 전리층 지연, 대류권 모델, DOP, 랜덤 오차 등 과 같은 GPS 오차를 시뮬레이션에 적용하였다. 실험결과 기선이 짧다면 무전리층 조합으로 인하여 전리층 지연 효과를 제거할 수 있기 때문에 TEC에 의한 위치오차는 그리 크지는 않았다. 그러나 기선이 길어진다면 3차원 위치오차는 최대 10cm까지 나타났다. 싸이클 슬립은 싸이클 슬립이 증가함에 따라 점차적으로 3차원 위치오차가 변화되기 보다는 싸이클 슬립이 60%를 넘었을 때 좌표에 미치는 영향이 커짐을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션된 싸이클 슬립이 위성에 골고루 분배되었기 때문에 싸이클 슬립에 의한 영향은 크지 않았으나 60%를 넘을 경우 그 오차는 급격히 증가하였다. 또한 DOP이 3보다 작은 경우, 2시간 선별하여 계산된 3차원 위치오차는 3~4cm 정도 향상되었다.

핵심어 : GPS, 위치정확도, GPS 오차, 시뮬레이션 데이터

1. 서 론

GPS 데이터의 정확도와 데이터의 연속성 등의 장점으로 인하여 GPS는 현재 그 활용이 점차 증가하고 있으며 또한 관심이 증대되고 있다. 그러나 GPS는 지구 밖 우주공간에서부터 신호를 전송하고 지상에서 수신하는 과정에서 여러 가지의 오차를 수반하게 되고 이러한 오차는 관측데이터의 정확도에 영향을 미치게 된다. GPS의 오차에 대한 성격과 이러한 오차를 소거하기 위한 노력은 계속되어 왔으며 현재 다양한 방법으로 GPS 오차를 소거하여 데이터를 처리하고 있다. 그러나 오차를 완벽하게 제거하는 데는 한계가 있기 때문에 GPS 관측에 있어서 품

1) 정회원・국토지리정보원 공간영상과(E-mail:wjsen1122@moct.go.kr)
2) 연결저자・정회원・서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(E-mail:jkwon@uos.ac.kr)
3) 정회원・서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(E-mail:leejs@uos.ac.kr)

질 관리는 반드시 필요하다.

GPS 관측데이터를 처리하여 계산된 좌표의 정확도는 사용된 기선 처리 소프트웨어 및 알고리즘에 따라 그 차이가 있을 수 있으나 무엇보다도 GPS 데이터 내에 포함된 오차량에 따라 결정된다. 따라서 GPS 데이터의 품질에 대한 연구는 활발하게 수행되어 왔으며 그 중 가장 대표적으로 UNAVCO의 LOUIS H.ESTEY 등(1999)은 GPS 데이터의 품질을 검증할 수 있는 프로그램인 TEQC(*t*ranslating, *e*diting, and *q*uality *c*hecking)를 개발하였다. TEQC는 다양한 수신기에서 수집된 GPS 자료를 GPS 자료의 표준형인 라이넥스(RINEX) 파일로 변환하고 이를 사용자의 요구에 따라 편집하고, 자료처리를 수행하기 전단계에서 품질을 체크할 수 있는 프로그램이다.

국내에서는 윤홍식 등(2006)이 효율적인 GPS 데이터 품질관리를 위하여 윈도우 기반의 프로그램을 개발하고 GPS 데이터 품질과 위치해석의 정밀도를 비교하였으며, 박관동 등(2007)은 국토지리정보원에서 운용하고 있는 GPS 상시 관측소에 대한 관측환경을 TEQC를 이용하여 위성관측개수, 다중경로(L1, L2), 싸이클 슬립 발생 횟수 등을 지표로 상시관측소의 문제점을 발견하였다.

GPS 관측에 있어서 품질 관리는 GPS 관측데이터 내에 포함되어 있는 다양한 오차의 효과를 산정함으로써 관측자료의 품질을 판단하는 것이다. 이러한 오차는 관측 자료를 처리하여 산출되는 위치의 정확도와 관련됨으로 품질검증의 결과를 위치정확도의 예측에 이용할 수 있는 것이다. 그러나 지금까지의 연구에서는 GPS 관측 데이터의 품질 검증 결과를 이용하여 데이터의 단순히 데이터의 품질을 평가하여 왔으며, 품질 검증의 결과가 위치 정확도에 미치는 영향에 대한 정량적인 연구는 행하여 지지 못했다. 이는 오차량을 정확하게 파악하기 힘들고 이러한 오차량이 품질 검증을 수행했을 때 품질 검증 결과에 어느 정도 반영되는 지 계산하기 어렵기 때문이다. 그러나 정확하게 알고 있는 양의 오차가 부가된 관측 데이터를 시뮬레이션 한다면 GPS 오차가 정확도에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 GPS 원시(RAW) 데이터에 단계적으로 GPS 오차를 첨가하여 시뮬레이션하고 이를 처리하여 GPS 오차가 위치(좌표)의 정확도에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 한다.

2. 데이터 시뮬레이션

GPS 관측과 관련된 다양한 오차를 포함하는 가상의 데이터를 구축하는 시뮬레이션은 공학용 소프트웨어인 버니즈(Bernese, ver 5.0)에 탑재되어 있는 시뮬레이션 툴인 GPSSIM을 이용하여 수행되었다. GPSSIM은 지상의 관측지에서 GNSS(GPS and GLONASS)에 대한 인공적인 관측치를 표준궤도 파일과 수신지역을 정의하는 좌표 파일을 이용하여 생성한다.

대기와 전리층에 의한 지연 효과는 시간의 함수로 모델링되고, 관측노이즈와 싸이클 슬립을 추가하였으며, 실제와 같은 데이터를 만들기 위해서 정규분포를 따르는 노이즈가 시뮬레이션 과정에서 추가되었다. 본 연구에서는 임의로 2007년 6월 14일 관측치를 시뮬레이션 하였으며 이 날의 Day of Year(1월 1일부터 시작하여 계산된 날)는 165일, MJD(Modified Julian date)는 54265일, GPS 주와 Day of Week은 1431.4일이 된다.

시뮬레이션은 RINEX 관측파일 자체를 생성하는 것으로 파일을 만들 때 GPS 오차를 단계적으로 부가 시켜서 다양한 품질의 관측치를 생성할 수 있다. 오차 요인으로는 GPS 데이터 품질검증의 중요 요소인 전리층 지연 오차, 대류층 모델, 싸이클 슬립, 다중경로 오차 등으로 구성하였다. 관측에서 발생되는 랜덤오차는 모든 시뮬레이션 관측치에 기본적으로 부가되었으며 그 이외의 GPS 오차는 각각의 관측소에 따라 단계별로 적용된다.

또한 좌표의 정확도는 기선의 길이에 따라 달라지므로 본 연구에서는 기선길이에 따른 효과를 알아보기 위하여 기선 길이 30km와 80km의 상시관측소를 선정하였다. 기선길이 30km에 해당하는 관측소로는 서울(SOUL)과 동두천(DOND)으로 하였으며, 80km는 수원(SUWN)과 청주(CNJU)로 선정하였다.

2.1 시뮬레이션 전략

기선길이 30km의 경우에는 서울(SOUL)을 고정점으로 사용하고, 80km는 수원(SUWN)을 고정하여 각각 동두천(DOND)과 청주(CNJU) 좌표를 계산하였으며, 이에 따라 고정점으로 사용하는 서울(SOUL)과 청주(CNJU)에는 기본적인 관측 오차, 즉 랜덤 오차만 부여하여 관측 자료를 생성하였으며 동두천(DOND)과 청주(CNJU)에는 관측오차를 비롯한 GPS 오차를 부가하여 생성하였다. 그러나 전리층은 국지적으로 발생되어 나타나지 않기 때문에 고정점에도 전리층 오차를 추가하였으며, GPS 데이터의 후처리에 있어서는 일반적으로 전리층오차를 소거하는 Ion-free 조합을 사용하여 좌표를 계산하기 때문에 순수한 전리층의 오차를 알아보기 위하여 고정점에 전리층 오차를 넣지

않고 시뮬레이션을 하는 경우도 실험에 추가하였다. 그리고 실제 측량 작업 규정에서 명시하는 관측 시간에 따라 관측 시간은 1, 4, 8시간으로 나누어 시뮬레이션 하였다.

2.2 시뮬레이션 옵션

2.2.1 전리층 지연(Ionospheric delay)

전리층 지연은 총전자수(TEC: Total electron content)가 직접적인 영향을 미치므로 총전자수의 양을 시간에 따른 함수로 만들어 시뮬레이션 하였다. 2004년 공군 세미나에서 발표된『우주환경정보의 국방 활용가능성 및 전망』에 따르면 2003년 10월말 갑작스런 태양의 활동으로 인하여 한반도 상공에 60 TEC 이상이 관측된 경우가 있었다.

따라서 본 연구에서는 최대 총전자수는 60 TEC, 그리고 단일 전리층을 가정한 레이어의 높이는 350km으로 설정하여 아래와 같이 총전자량을 산출하였다(Urs Hugentobler et al, 2006).

$$T_{loc} = UT + \lambda \tag{1}$$

$$E = \begin{cases} E_0 & \text{for } T_{loc} \in (20^h, 8^h) \\ E_0 + E_1 \cos\left(\frac{T_{loc} - 14}{12}\pi\right) & \text{for } T_{loc} \in (8^h, 20^h) \end{cases} \tag{2}$$

E_0 : 밤시간의 전자량, E_1 : 전리층의 낮시간의 변화량

UT는 세계시를 의미하며 λ는 지방시로서 대한민국의 지방시는 9시이다.

그림 1은 동두천과 청주에서 시간에 따라 변화하여 부가된 전리층 효과를 보여주고 있다. TEC 값은 0.1*TEC으로 표현되어 있으며, UT 6시에 최대 TEC 값인 60, 그리고 14시경에 최소값인 30 TEC으로 나타났다.

2.2.2 대류권 모델(Tropospheric Model)

대류권에 의한 GPS 관측치의 지연은 Niell 모델과 Saastamoinen 모델을 적용하여 시뮬레이션을 하였다. 대류권 지연량은 신호가 대기권을 통과할 때의 천정각 ϑ와 함께 증가하고, 천정방향에서 가장 작으며 이들의 맵핑 함수(mapping function)는 대류권의 시간적·공간적 변수에 의해 모델화된다. 정역학적 지연과 습윤지연의 맵핑함수로 다양한 모델이 존재하며, 그 중 하나인 Niell's(1996) 함수는 입력 값으로 관측소의 위치와 연중 시간(time of year)만 필요하고 지상 기상학에 독립적이고 정확하기 때문에 널리 사용되고 있다. Saastamoinen Model 은 기체법칙(gas law)으로부터 추정된 굴절률을 이용한다(Saastamoinen, 1973). 이 모델에 의한 대류층 지연 효과는 미터(m) 단위로서 다음과 같이 표현된다(Hofmann-Wellenhof et al.,2001).

$$\Delta^{Trop} = \frac{0.002277}{\cos z}\left[p + \left(\frac{1255}{T} + 0.05\right)e - \tan^2 z\right] \tag{3}$$

z : 위성의 천정각, p : 대기압(mb), T : 켈빈[절대] 온도, e : 수증기 부분압(mb)

2.2.3 싸이클 슬립(Cycle slip)

싸이클 슬립은 매 에포크(epoch)와 모든 위성에 대해서 같은 확률로 발생할 것이라는 가정 하에서 시뮬레이션 되었으며 최대 사이즈는 100 싸이클(cycle)로 그 간격 사이에서는 균등하게 분포하게 된다. 파일 당 최대 싸이클 슬립을 100 싸이클로 하였기 때문에 싸이클 슬립 시뮬레이션에서는 관측 시간은 1시간 자료만을 이용하였다. 싸이클 슬립의 발생 비율은 10%에서 80%까지 10% 간격으로 세분화하여 시뮬레이션 하였다. 그림 2와 3은 관측소 CNJU(청주)에서 위성 7번에 80%의 싸이클 슬립이 발생

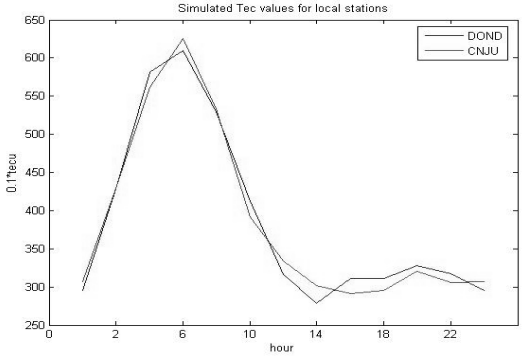

그림 1. 시간에 따른 TEC값의 변화

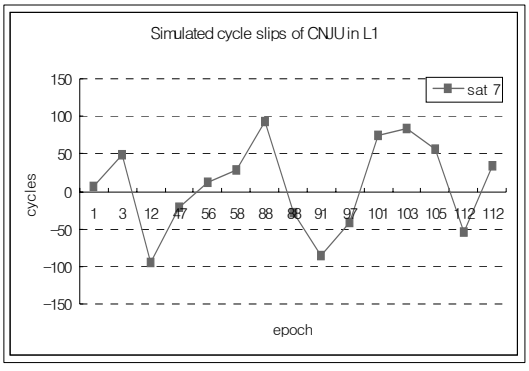

그림 2. 싸이클 슬립 시뮬레이션 L1

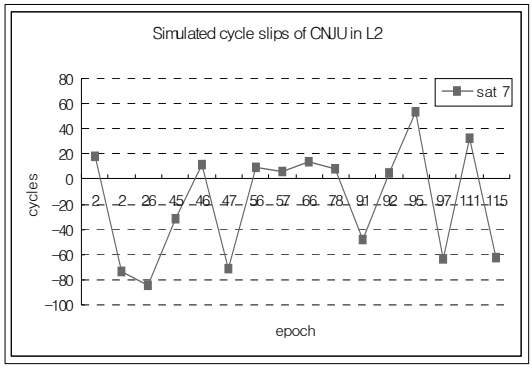

그림 3. 싸이클 슬립 시뮬레이션 L2

한 경우를 L1과 L2의 관측치에 따라 보여주고 있다.

2.2.4 랜덤 오차

GPS 관측치에는 랜덤 오차를 포함하고 있으며 그 크기는 표 1과 같다(Hofmann- Wellenhof et al.,2001). 실제와 같은 관측치를 시뮬레이션하기 위하여 관측에 따른 랜덤 오차는 모든 시뮬레이션 관측치에 부가 하였으며 이때 랜덤 오차는 정규분포를 따르는 것으로 가정하였다.

3. 데이터 처리 결과

시뮬레이션에 의하여 생성된 다양한 경우의 자료들을 이용하여 각 기선의 길이에 따른 상대측위를 수행하였다. 우선 고시된 좌표를 기반으로 관측 랜덤 오차만 포함된 시뮬레이션 데이터를 가지고 기선을 처리하였으며, 이는 GPS 오차가 포함된 시뮬레이션 데이터의 기선 처리와 비교하여 분석하는데 있어 기준값으로 사용함으로써 다양한 GPS 오차가 좌표 결정에 미치는 영향을 알아보기 위함이다. 위성의 궤도 정보는 방송력(Broadcast Ephemerides)을 이용하였으며, 사용된 GPS 자료처리 소프트웨어는 LEICA GeoOffice ver 2.0, GPSurvey ver 2.35로 현재 가장 많이 사용되고 있으나 데이터 처리 루틴의 상이함으로 인해 같은 데이터를 처리하더라도 추정되는 좌표값에 차이가 발생하는 두 회사의 제품으로 선정하였다. 두 소프트웨어로부터의 결과 비교 분석을 위해서 기준값으로 사용할 기선처리는 버니즈 ver 5.0을 이용하여 산정함으로써 좌표의 정확도를 높였으며 GPS 오차가 포함된 시뮬레이션 데이터는 상용 GPS 데이터 처리 소프트웨어를 사용하여 좌표를 계산하였다.

표 2는 시뮬레이션 옵션을 정리하여 데이터 처리 결과

표 1. 랜덤 오차

Range		Noise	option
Code Range(C/A-code)		10-300cm	0.5m
Code Range(P-code)		10-30cm	0.5m
Phase range	L1	0.2-5mm	0.002m
	L2	0.2-5mm	0.002m

표 2. 시뮬레이션 옵션

오차		기선길이	고정점 (TEC)	미지점 (TEC)	관측시간 (H)
전리층		80km	수원(10～20)	청주(30～60)	1, 4, 8
			수원(30～60)		
		30km	서울(10～20)	동두천(30～60)	
			서울(30～60)		
		80km	수원(0)	청주(10～20)	1, 4, 8
			수원(10～20)		
		30km	서울(0)	동두천(10～20)	
			서울(10～20)		
DOP		80km	수원(0)	청주(30～60)	2(DOP 3이하), 4, 8
			수원(10～20)		
			수원(30～60)		
		30km	서울(0)	동두천(30～60)	
			서울(10～20)		
			서울(30～60)		
대류권	(1)	80km	수원	청주	1, 4, 8
	(2)				
	(1)	30km	서울	동두천	
	(2)				
싸이클 슬립		80km	수원: 0%	청주 : 10,20,30,40, 50, 60%	1
		30km	서울: 0%	동두천: 10,20,30,40, 50,60%	1

에 대한 이해를 쉽도록 하였다. 대류권 (1)과 (2)는 각각 Saastamoinen 모델과 Niell 모델을 의미한다.

3.1 전리층 지연(Ionospheric delay)

전리층 지연 효과를 분석하기 위하여 TEC(총전자량)을 관측 지점인 청주와 동두천에 각각 30~60 TEC, 10~20 TEC 으로 시뮬레이션 데이터에 포함하고 고정점인 수원과 서울에는 10, 30 으로 TEC 값을 변화시켜 부여하여 기선처리를 수행하였다.

(1) 청주와 동두천에 30~60 TEC을 넣은 경우

그림 4와 5는 청주의 3차원 위치오차를 그래프로 표현하고 있다. 전체적인 경향은 관측 시간이 길게 시뮬레이션된 데이터의 처리 좌표의 위치오차가 적어짐을 알 수 있다. 고정점에 관측소와 유사한 전리층 효과가 발생한다면 전리층 활동이 활발하다고 가정한 TEC 값 30~60일 경우 8h 관측치의 위치오차는 7~10cm 정도 발생하였다.

그림 6과 7은 동두천에 30~60 TEC을 부가하고 고정점으로 사용된 서울을 10~20, 30~60 TEC으로 각각 넣었을 때 1h, 4h, 8h 관측치를 이용하여 시뮬레이션된 데이터를 처리한 결과를 그래프로 나타내고 있다.

서울과 동두천에 전리층 효과가 최대로 발생할 경우 두 지점의 TEC 값이 30~60의 상황에서 8h 관측치를 이용하여 좌표를 계산하면 약 6~7cm의 위치오차가 발생됨을 알 수 있다.

(2) 청주와 동두천에 10~20 TEC을 넣은 경우

관측점은 평상시 실제 한반도 상공에서 나타날 수 있는 TEC인 10~20으로 하고 고정점에는 0과 10~20 TEC을 부가하여 관측시간을 1h, 4h, 8h로 시뮬레이션된 데이터를 계산하였다. 관측점과 고정점에 유사한 전리층 효과를 갖도록 하기 위하여 두 지점 모두 TEC 값을 10~20으로 부여하였으며, 기선을 처리 할 때는 2중 차분식을 사용하고 무전리층(Ion-free) 선형조합을 이용하기 때문에 전리층에 효과를 최대한 제거하고 남은 나머지 효과를 알아보기 위해 관측점과 고정점에 TEC 값을 모두 첨가 하였다.

그림 8과 9는 TEC 값이 10~20일 경우 청주의 3차원 위치 오차를 그래프로 나타내고 있다. 청주와 수원의 기선 길이가 80km 이기 때문에 고정값과 관측지점의 TEC 값에 따라 계산된 3차원 위치오차의 차이가 크게 나타나고 있다.

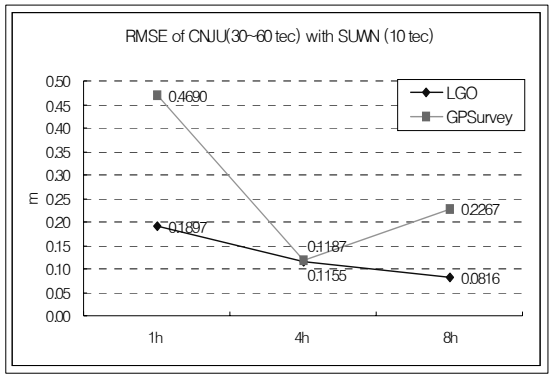

그림 4. 청주(30~60 TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 수원 (10TEC)

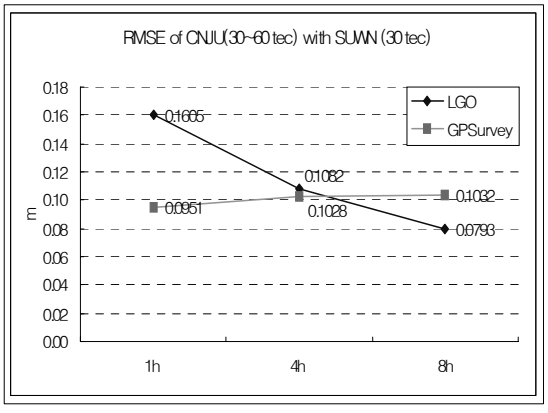

그림 5. 청주(30~60 TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 수원 (30TEC)

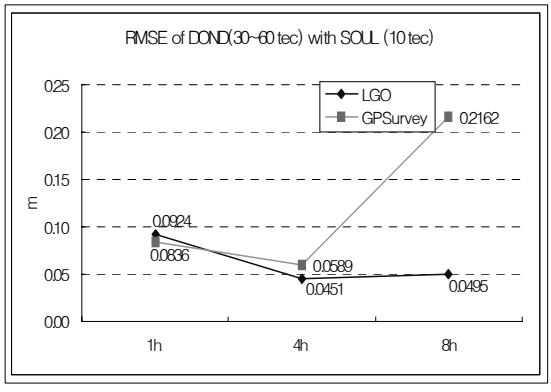

그림 6. 동두천(30~60TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 서울 (10TEC)

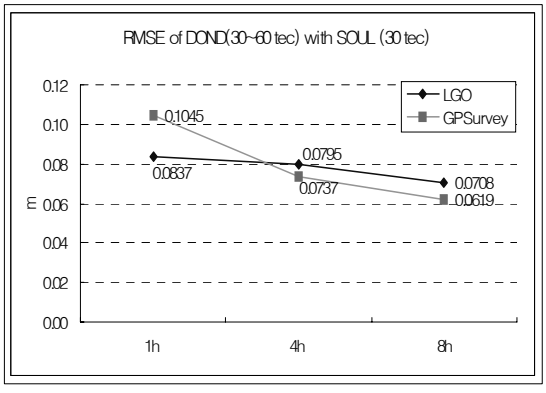

그림 7. 동두천(30~60TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 서울 (30TEC)

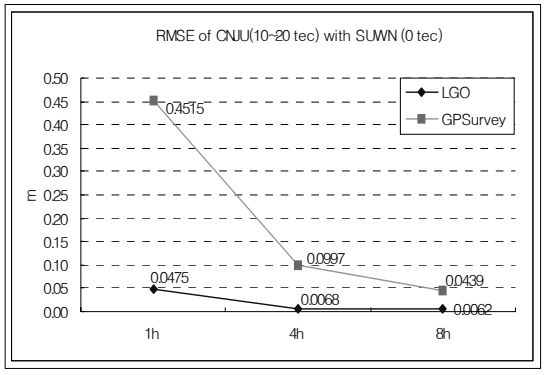

그림 8. 청주(10~20TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 수원 (0TEC)

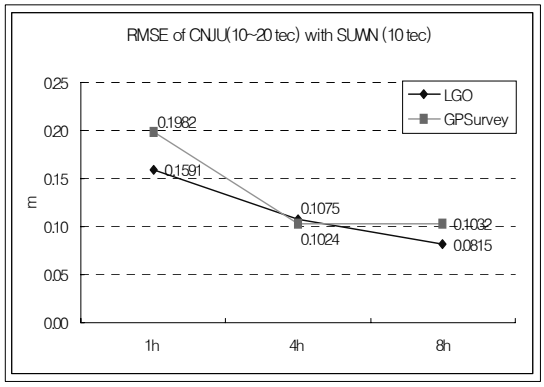

그림 9. 청주(10~20TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 수원 (10~20TEC)

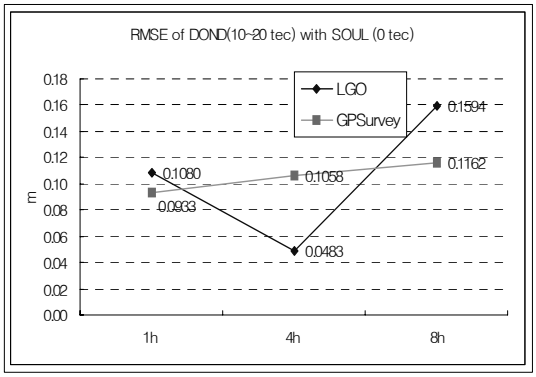

그림 10. 동두천(10~20TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 수원 (0TEC)

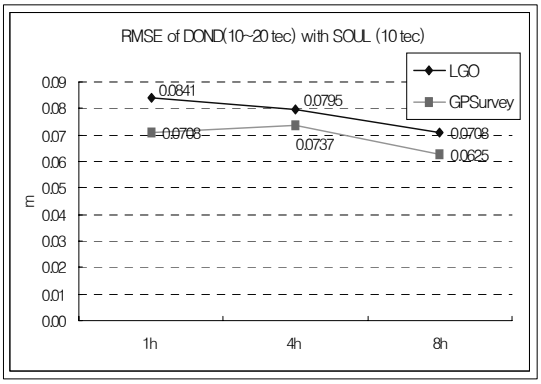

그림 11. 동두천(10~20TEC)의 3차원 위치오차, 고정점: 수원 (10~20TEC)

청주에서 10~20 TEC이고 수원에서 TEC 값이 0일 경우 8h 관측치의 계산된 좌표의 3차원 위치 오차는 6mm~4cm로 나타났으며 같은 조건에서 수원의 TEC값이 10~20이라면 위치오차는 8~10cm로 크게 증가함을 볼 수 있다. 그림 10과 11은 동두천의 3차원 위치오차를 관측 시간에 따라 그래프로 나타내고 있다. 기선의 길이가 80km이였을 경우 고정점에 TEC 값이 0일 때 3차원 위치오차는 상대적으로 TEC값이 적용되었을 때보다 작았다.

반면에 기선길이가 30km인 경우 고정점에 10~20 TEC 값이 첨가된 시뮬레이션된 관측치의 3차원 위치오차가 더 작았다. 이는 전리층의 효과는 기선에 따라 영향을 미치고 기선의 길이가 짧을수록 유사한 전리층의 효과를 받기 때문으로 해석된다.

3.2 DOP에 따른 관측 시간별 데이터 처리

전리층 오차가 첨가된 시뮬레이션 데이터 셋을 이용하여 DOP에 따라 관측시간별로 데이터를 처리해 봄으로써 데이터의 품질에 따른 정확도를 비교분석해 보았다. GPS 데이터는 관측시간이 길고 데이터량이 많아지면 데이터 후처리시 높은 정밀도를 가진다고 알려져 왔으나 이것은 자료의 품질이 좋다라는 가정하에 성립되는 개념으로 실제 시뮬레이션 실험을 통하여 테스트를 해본 결과 8시간의 관측 데이터가 4시간 관측 데이터 보다 3차원 위치오차가 더 크게 나타나는 경우도 있었다. 즉, 관측 시간에 따른 데이터의 품질이 좋지 않았기 때문에 품질이 좋지 않은 데이터를 이용하여 좌표를 처리할 경우 관측시간이 충분하다 할지라도 요구되는 정확도의 좌표를 취득할 수 없는 경우도 발생한다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 TEC 값을 30~60으로 적용한 시뮬레이션 데이터를 이용하고 DOP이 낮은(DOP이 낮다는 것은 정밀도가 좋다는 의미) 시간대를 선별하여 데이터를 처리하고 그 결과를 분석하였다.

그림 12와 13은 각각 청주와 동두천 데이터의 DOP (dilution of precision)을 시간에 따라 그래프로 나타내고 있으며 GDOP(Geometric dilution of precision), PDOP (Position dilution of precision), HDOP(Horizontal dilution of precision), VDOP(Vertical dilution of precision)으로 구분하여 표시하고 있다. 청주 데이터의 PDOP은 2~6정도로 나타나고 있으며 이 중 PDOP이 평균 2.5인 15시에서 17시 사이의 데이터만을 이용해 데이터를 처리하였으며, 동두천의 PDOP은 2~5.5 정도이며 PDOP의 평균이 3인 13시에서 15시 사이의 데이터를 이용하여 좌표를 계산해 보았다.

그림 14는 관측시간별 3차원 위치오차를 표와 막대그래프로 나타내고 있다. 그림 14에서 보는 바와 같이 관측시간이 길다고 하여(8h) 데이터 처리시 3차원 위치오차가 작게 계산되지 않으며 데이터의 품질이 좋은 2시간을 고려하여 처리한다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 선별된 2시간으로 데이터를 처리할 경우 8시간 관측 데이터보다 좌표계산시 최대 20cm의 3차원 위치오차를 개선할 수 있으며 이는 실제 측량 작업시 관측데이터의 시간보다 관측데이터의 질이 더 중요하다는 것을 증명하는 바이다. 따라서 8시간 관측 데이터 중에서 2시간 동안 평균 PDOP가 3 이하인 부분을 선별하여 데이터 후처리시 이용한다면 보다 좋은 정확도를 가지는 좌표를 획득할 수 있을 것이라 판단된다.

3.3 대류권 모델(Tropospheric Model)

대류권에 따른 지연의 효과를 분석하기 위하여 각 기선별로 Saastamoinen 모델과 Niell 모델을 적용하여 데이터를 시뮬레이션하고 이를 기선처리하여 3차원 위치오차를 계산하였으며, 데이터의 관측 시간은 1h, 4h, 8h로 각 기선에 따라 30km, 80km로 나누어 적용하였다. 그림 15와 16은 대류권 모델을 Saastamoinen 모델로 적용하여 시간별, 기선별로 시뮬레이션한 관측 데이터를 가지고 기선처리하여 계산된 좌표의 3차원 위치오차를 그래프로 표현하고 있다. 관측 시간이 늘어날수록 위치오차는 대체적

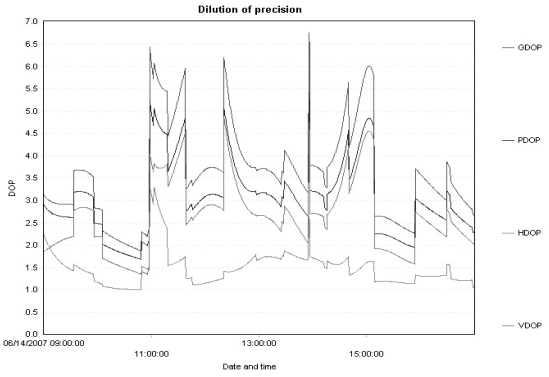

그림 12. 청주의 DOP

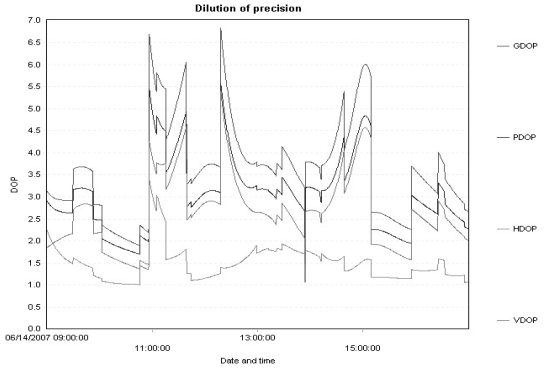

그림 13. 동두천의 DOP

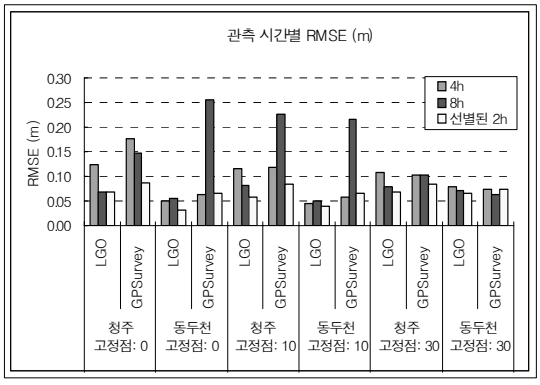

그림 14. 관측 시간별 3차원 위치오차비교(m)

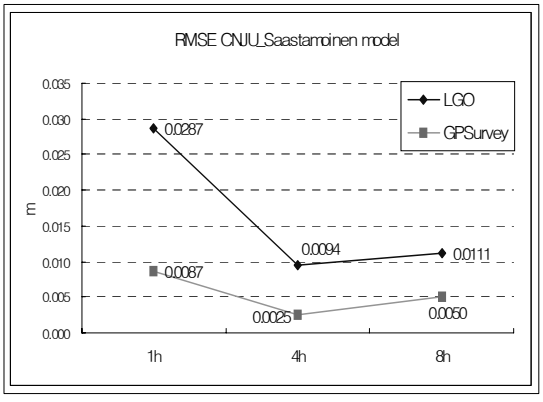

그림 15. Saastamoinen 모델을 적용한 청주의 3차원 위치오차(m)

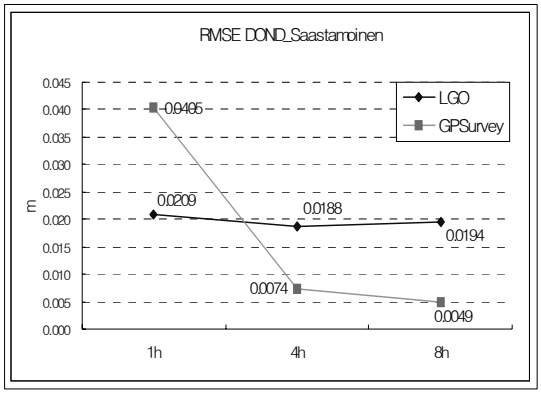

그림 16. Saastamoinen 모델을 적용한 동두천의 3차원 위치오차(m)

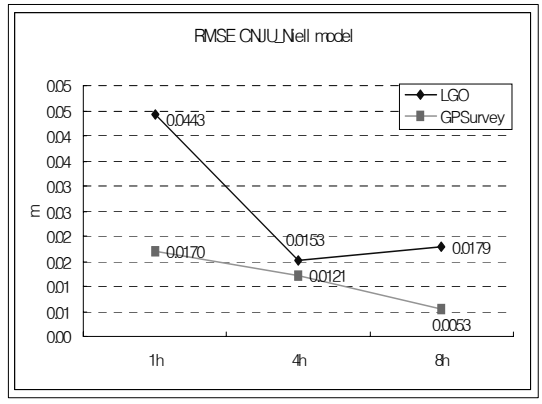

그림 17. Niell 모델을 적용한 청주의 3차원 위치오차(m)

으로 감소하고 있으며 8시간 관측 데이터의 경우 최대 1cm의 위치오차를 보이고 있다.

그림 17과 18은 Niell 모델을 적용하여 시뮬레이션된 관측데이터를 기선처리하여 계산된 좌표의 3차원 위치오차를 나타내고 있다. 관측 시간이 늘어날수록 위치오차는 최대 4cm까지 감소하고 있으며 8시간 관측시 위치오차는 1~2cm 정도이다.

그림 19는 Saastamoinen 모델과 Niell 모델을 각각 적용하여 시뮬레이션된 관측데이터의 3차원 위치오차를 비교하고 있다.

실험결과 Saastamoinen 모델이 Niell 모델 보다 3차원 위치 정확도에서 약 1cm 정도 정확한 것으로 분석되었으며 8시간 관측데이터의 경우 청주의 3차원 위치오차는 1cm 정도로 나타났다.

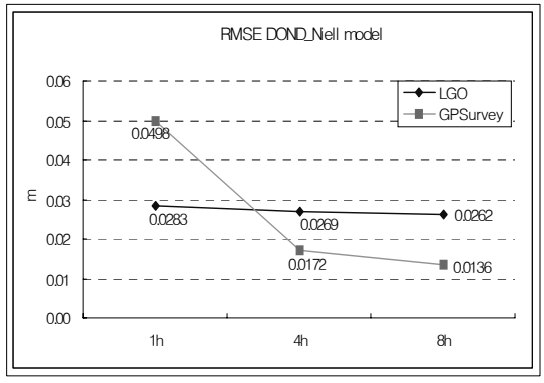

그림 18. Niell 모델을 적용한 동두천의 3차원 위치오차(m)

3.4 싸이클 슬립(Cycle slip)

싸이클 슬립은 기선별로 10%~80%까지 첨가하여 관측데이터를 시뮬레이션 하였으며 데이터 처리 결과 싸이클 슬립이 80% 이상일 경우 3차원 위치오차가 100m 이상 크게 발생하였기 때문에 80% 이상에 관한 좌표 처리 결과는 생략하였다. 싸이클 슬립이 증가함에 따라 점차적으로 3차원 위치오차가 변화되기 보다는 싸이클 슬립이 60%를 넘었을 때 좌표에 미치는 영향이 커짐을 알 수 있다. 그림 20과 21은 싸이클 슬립이 포함되어 시뮬레이션된 좌표의 3차원 위치오차를 히스토그램으로 표현하고 있으며 싸이클 슬립이 60% 발생하였을 경우 위치오차가 3m 이상 발생하였다.

기선의 길이 및 관측 시간과 상관없이 관측 데이터에 싸이클 슬립이 60% 이상 발생하였을 경우는 재관측을 해

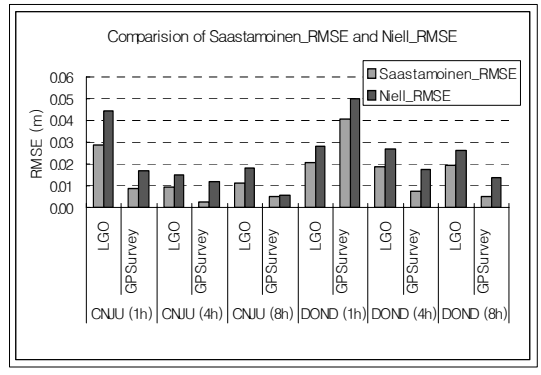

그림 19. Saastamoinen과 Niell의 비교

야 하며 기선의 길이가 30km 정도 일 경우 싸이클 슬립이 50% 발생하였다면 그 데이터는 후처리 좌표 계산시 2cm의 정확도를 가질 수 있다. 반면 기선길이가 80km 정도 될 경우 싸이클 슬립이 50% 발생할 경우 재측을 요하며 40% 발생한 경우 관측데이터는 약 4cm의 정확도를 가진다고 할 수 있다.

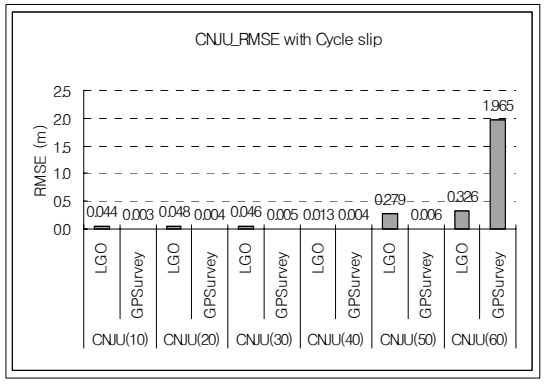

그림 20. 싸이클 슬립이 포함된 청주좌표의 RMSE(m)

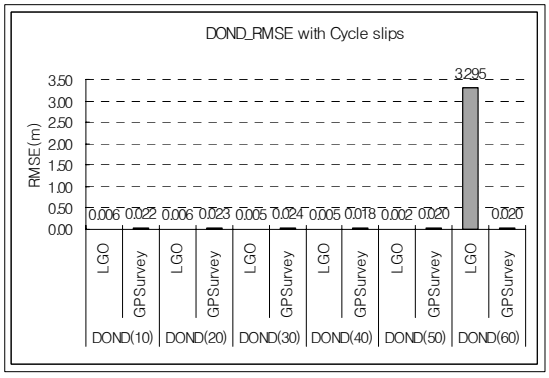

그림 21. 싸이클 슬립이 포함된 동두천 좌표의 RMSE(m)

4. 결 론

전리층 지연 효과는 기선이 짧을 경우 선형 조합으로 제거될 수 있기 때문에 TEC 값에 따른 위치오차는 크지 않았으나 기선이 길어질 경우 그 차이는 최대 10cm 까지 나타났다. 대류권 모델은 Niell 모델과 Saastamoinen 모델을 적용하여 실험을 진행하였으며 모델별로 큰 차이는 없었으나 실험 결과 Saastamoinen 모델이 약 1cm 정도 정확한 것으로 나타났다. DOP에 따른 관측 시간별 데이터 처리를 통하여 데이터의 관측 시간 보다는 데이터 질이 좋은 시간대만 선별하여 처리하였을 경우 위치 정확도가 더 높게 계산되었다. PDOP이 3이하인 시간대를 선별하여 2시간 데이터 처리한 경우 사용된 소프트웨어의 차이가 있겠지만 최대 20cm 까지 3차원 위치오차가 정밀해졌음을 알 수 있다. 이는 실제 데이터를 획득하여 처리할 경우 전체 취득 시간을 이용해 처리하는 것 보다 데이터의 질이 좋은 시간만을 선별하여 처리하는 것이 결과에 더 좋은 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다. 싸이클 슬립은 싸이클 슬립이 증가함에 따라 점차적으로 3차원 위치오차가 변화되기 보다는 싸이클 슬립이 60%를 넘었을 때 좌표에 미치는 영향이 커짐을 알 수 있었다.

본 연구에서는 복잡한 환경에 대한 설정 및 계산에 따라 다중경로에 대한 시뮬레이션은 실시하지 않았으며 따라서 향후 연구에서 보다 발전된 방향으로 다중경로에 대한 연구를 추가하여야 할 것으로 사료된다. 또한 중기선에서 장기선에 이르는 부분까지 연구범위를 확대하여 기선길이의 변화에 따른 GPS 데이터의 품질과 위치 정확도와의 상관관계를 살펴봄으로써 보다 효율적인 GPS 측위에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

박관동(2007), 국토지리정보원 GPS 상시관측소 관측환경 분석, 한국측량학회지, 제 25권 제 4호, pp. 337-345.

윤홍식(2006), GPS 데이터 품질관리 프로그램 개발, 한국측량학회지, 제24권 제 1호, pp. 9-18.

조경석(2004), 우주환경정보의 국방 활용가능성 및 전망, 공군 2004 세미나.

B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger,J.Collins (2001), Global Positioning System Theory and Practice, Springer-Verlag Wien New York, pp. 97-115, 205, 271-275.

Louis H. Estey, Charles M. Meertens (1999), TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data, *GPS Solutions*, Vol. 3, No. 1, pp. 42-49.

Niell AE (1996), Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal of Geophysical Research*, 101 (B2), pp. 3227-3246.

Saastamoinen J (1973), Contribution to the theory of atmospheric refraction, Bulletin Geodessique, 107, pp. 13-34.

Urs Hugentobler, Rolf Dach, Pierre Fridez, Michael Meindl (2006), Bernese GPS Software Version 5.0 DRAFT, *Printing Office of the University of Bern*, pp. 257-264.

(접수일 2008. 7. 11, 심사일 2008. 7. 31, 심사완료일 2008. 8. 6)