

GPS 가상기준점 자료의 정확도 분석 Accuracy Analysis of GPS Virtual Reference Station's Data

이용창
Yong-Chang Lee

시립인천전문대학 토목과 교수, (E-mail : gpsgis@icc.ac.kr)

Abstract

More recently, multiple reference based RTK GPS techniques(VRS ; Virtual Reference System) are becoming increasingly important for many precise GPS applications in many countries to overcome the constrained distance limitations of standard RTK systems. The precision of the position solutions of the rover receiver is closely connected with that of the corresponding virtual reference points(VRPs). The objective of this paper is to investigate the accuracy and performance of the VRPs on the test network for static positioning in post processing mode. For this, some VRPs at the inside and outside of test network have made in post mode, and the overall analysis results were presented by comparing the solution for the VRPs from the existed GPS reference station with the true values of the coordinates used to produce the observation data. The results show the reasonable accuracies of VRPs in the network area by using the VRS concept in post mode.

1. 서 론

정밀 GPS 측위(cm 급 이상)를 위해서는 반송파 위상(carrier phase) 관측값을 사용하여야 한다. 실시간 동적 GPS 측위(RTK)는 반송파 위상의 모호정수(Carrier phase ambiguity)가 이동 중에도 정수치로 해석되는 한(on-the-fly ; OTF) cm 급의 측위 정확도를 제공할 수 있으므로 육상, 해상, 공중의 측량 및 항법 등 여러 응용분야에서 그 수요가 증가되고 있는 추세에 있다. 특히, 실시간 정밀측위의 기선해석과정에서 이중차(double difference) 위상의 모호정수(ambiguity) 결정은 매우 중요한 과제이다. 이중차 관측값에 대한 전리층, 위성궤도 및 대류층 지연의 영향은 측정점 간 기선거리가 증가할 경우 상대적으로 증대되며 아울러 기선의 방향에도 영향을 받는다. 또한, Multipath와 같이 GPS 수신기의 설치에 종속되는 오차의 영향은 관측시간이 짧을수록 상대적으로 큰 영향을 주게 된다. 따라서, 기선거리가 멀어지고 관측시간이 짧아질수록 계통오차의 상관관계가 저하되어 적절히 제거되지 않고, 이로 인해 추정 위치의 정확도가 떨어져 모호정수의 해석은 점차 어려워지게 되며 소요 측위정확도를 확보할 수 없게 된다. 단일 기준점을 활용한 실시간 정밀 측위(Single Reference RTK GPS)에서는 이동 중(OTF ; On The Fly) 모호정수의 해석 양상이 관측오차의 실제 크기에 따라 다양하지만, 보통 기선거리 10km 이내로 국한되며 최소 수 분의 연속된(Epoch = 1초) 관측 자료를 필요로 한다. (Wanninger, 1999; Fotopoulos, 2000) 최근 GPS 상시관측소 자료를 활용하여 기선길이 및 방향에 종속된 오차, 즉 전리층 지연오차, 위성궤도오차 및 대류층 지연오차 등을 모델화하고 또한 Multipath 오차를 완화시켜 기선길이 증대에 따른 모호정수 해석의 부담을 감소시키므로써 측위정확도를 향상시킬 수 있는 실시간 정밀 측위 서비스가 독일, 일본, 호주, 스웨덴, 미국 등에서 국가적 규모 혹은 지역망 규모로 실용화 되고 있다.(SAPOS; Park, 2003; Petrovski, 2000; Lachapelle, 2002; C.Rizos, 2003; Zhang, 2003) 현재까지 개발

된 GPS 상시 관측망에 근거한 RTK는 Multi reference station Positioning, Wide Area Positioning, Network RTK, 또는 VRS (Virtual Reference Station Technique, 가상기준점)으로 명명되어 적용되고 있으며, GPS 상시관측소의 자료를 이용하여 기준망 내에 위치한 임의의 가상점에 대한 Code 및 반송파 위상의 보정값을 산정하고 이를 이동국으로 송신하여 효율적이고 정확한 위치를 결정하게 한다. 현재, 우리나라는 국토지리정보원, 행정자치부 등 8개 기관에서 약 80개소의 GPS 상시관측소를 전국에 설치·운영하고 있고 국가 기반시설로서의 역할을 수행하고 있다. 그러나 다양한 활용분야와 연구의 확대에 따른 GPS 데이터 수요의 폭발적인 팽창과 자료제공 시스템의 구축 및 정밀한 위치정보에 대한 수요자들의 요구가 증가하고 있음에 따라 국가적 차원에서는 공공기관 및 일반 사용자에게 신속한 GPS 상시관측소 이용 방안을 마련하고 국내 GPS 상시관측소 데이터 서비스를 강화하며 모든 상시관측소의 통합을 통한 최적화된 서비스 시스템의 구축이 절실히 요구되는 시점이다.

본 연구에서는 최신 정밀 측위방법인 GPS 상시관측망을 이용한 Network RTK 기법에서 GPS 상시관측망으로부터 산출된 가상기준점 자료의 정확도를 비교 검토하는데 목적이 있다. 이를 위하여 관측망 내·외에서 가상기준점을 선점, 인공 관측자료를 산출하고 상시관측소중 임의 관측소를 고정점으로 가상기준점간의 기선해석을 통하여 좌표와 기선을 산출한 후, 가상점 산출시 적용한 이론적 좌표 및 기선해석에 의한 좌표간의 좌표편차와 지심기선장편차를 비교·고찰한다. 또한 GPS 상시관측소로 구성된 삼각망 내 기하학적 중심점에 대한 가상 관측점을 고정점으로 하여 역으로 기존 3점의 GPS 상시 관측점의 좌표를 산출하고 좌표 및 지심기선장의 정확도를 비교·검토한다.

2. Network RTK 측위

Network RTK 측위는 여러 개의 GPS 상시관측소 자료를 이용하여 이동국 인근에 가상점을 생성시켜 이동국의 정밀한 위치 결정을 도모하는 기법으로 여러 기준점들의 관측 자료를 모두 사용하므로 단일 기준점 측위에 비해 서비스의 신뢰성과 이용성이 높다. 또한 기준점들의 관측값을 결합함으로써 거리에 의존하거나 공간적으로 연관된 오차(전리층, 대류층, 위성 궤도)를 모델링 할 수 있어 이동국의 오차를 줄일 수 있다. 네트워크 기준점 측위방식에는 편도함수(Partial derivative algorithms : PDA), 선형 보간 (Linear interpolation algorithms), 조건부 조정(condition adjustment), 가상기준점 방법(Virtual reference station methodologies) 등으로 구분할 수 있는데, 이중 처음 세 가지 방법은 직접적으로 반송파위상의 보정치를 계산 하는 것이고 마지막 것은 가상기준점의 개념을 도입하여 보정치를 계산한다는 점에서 차이가 있다. 네트워크 기준점 측위에서 중앙제어국 컴퓨터는 GPS 상시관측소와 연속적으로 연결되어 있어 중앙제어국에서는 네트워크내의 기준점들의 자료를 이용하여 위성파 수신기의 시계 오차, 위성 궤도 오차, 전리층 및 대류층 오차 등과 같은 주요 오차원의 보정치를 추정하고 이를 계수화 하여 이용자에게 송신함으로써 이동국의 측위 정밀도와 신뢰성을 향상시킨다.

VRS 기법은 가상기준점 결정을 위한 GPS 상시 관측소의 지역적 선택 범위에 따라 기존 RTK 관측값 내 systematic 오차원(전리층, 대류층 및 위성궤도력)을 모델링하여 문제시된 오차를 소거하거나 축소시켜 OTF 초기화 및 Carrier ambiguity 해석 시간을 단축시키는 장점이 있어 기존 RTK 측량의 고정국과 이동국간 적용 거리를 증가시켜 신뢰도의 향상은 물론, 1대의 2주파 혹은 1주파 수신기 만으로도 높은 정밀도를 획득할 수 있는 장점이 있다. 그러나 Network RTK의 경우도 기준국 측점에 종속된 요인(Multipath, 상이한 기종의 안테나 사용에 따른 Phase 중심의 변동, 기타 noise) 등에 따른 오차의 영향은 점차 해결해야할 과제이다.(Retscher, 2002)

2.1 Network RTK 작업의 흐름과정

가상기준점의 관측자료는 GPS 상시관측망의 관측자료를 기초로 표 1과 같은 공정단계를 통하여 산

출된다. 1단계에서 GPS 상시관측소의 자료를 이용하여 기준국간 이중차식(DD식) 및 선형 조합식(Lc)을 구성한 후, 2단계에서는 관측소의 정밀좌표를 활용하여 모호정수 N1, N2 및 Nc(N3, N4 등)를 결정하고 3단계에서는 결정된 모호정수와 반송파 위상방정식으로 부터 보정항 관련 오차성분(관측망내 거리종속오차)를 위성별 및 Epoch 별로 L1과 L2 반송위상과 측정값 내부의 잔차들로 부터 산정하게 된다.

표 1. 가상기준점 자료의 생성공정 단계

단계	공 정
1	GPS 상시관측소 자료 수집 기준국간 DD 및 Lc (L3, L4) 형성
2	모호정수 결정 (DD의 N해석, Lc의 N해석)
3	관측망 내 거리종속 및 제반 오차 산정 (편미분, 선형보간, 조건방정식조정, 가상기준점방식)
4	거리종속오차 및 제반오차의 보간 및 매개변수화 (평면선형, 격자화)
5	가상점 계산 및 거리종속오차 전송

관측망 영역에 대한 오차 보정값의 거동이 해석되면 사용자 위치에 대한 제반 오차의 보정값을 효율적인 방식으로 매개변수화 하여 이용자에게 전송해야 한다. 현재 사용 중인 RTCM ver.2.3 전송프로토콜의 경우는 단일 기준국 보정값 전송 전용으로서 Network RTK 보정값을 전송할 수 없으므로 5단계와 같이 사전에 보정값을 적용시켜 가상점의 관측자료를 만들어 전송하거나 또는 Network 보정값을 위한 별도의 전송형식을 구성하여 이용자에게 전달하여야 한다. 따라서, 현 RTCM ver 2.3 프로토콜을 사용할 경우, 가상점을 만들어 보정값을 전송해야 하는데 기준국과 이동국간의 거리가 단거리일수록 최적의 측위결과를 제공하는 것이 표준 RTK의 기본개념이므로 이 경우 이동국 근처에 가상점을 만들고 이 지점의 근사위치를 제어국으로 송신해야 하므로 양방향 통신체계가 필수조건이며 동시 사용자가 많을 경우 중앙국의 부담 등으로 동시 사용자수에 제한이 있게 된다. 그러나 Network 보정값을 전송할 수 있는 신 버전의 RTCM 프로토콜이 발표될 경우, 단방향 통신만으로 Network RTK의 장점을 제공할 수 있게 된다. (Keenan, 2001; Euler, 2002; Hu, 2002; Vollath, 2002; Cruddace, 2002)

3. 관측자료 획득 및 가상점 산정

본 연구를 위해 미국 미시간주 교통국에서 운영하고 있는 GPS 상시 관측망은 그림 1의 여러 관측소 중 3개의 관측소(ADRI, BRIG 및 SIBY)로 시험망(그림3의 사각형 점선구역)을 구성하여 TTC(Trimble Total Control s/w)로부터 삼각형 내부 및 외부에 각각 5점 및 3점의 가상 관측점으로 가정한 가상점 자료를 산출하고(그림 1) SIBY 측점을 고정점으로 한 해석결과로부터 가상점과의 기선 및 좌표성분의 정확도를 비교·검토하였다. (MDOT, <http://www.mdotcors.org/>) VRS1 측점은 삼각형의 가하학적 중심위치에 설정된 가상점이며 VRS6, VRS7 및 VRS8번 측점은 삼각변 외측으로 약 5km 정도 위치하는 가상 관측점들이다. 상시관측소의 자료는 2004년 2월 15일(GPS Week 1258), 오전 6시부터 Epoch 1 초 간격의 3시간 관측자료를 활용하였고 가상점들의 표고는 GPS 상시관측소 3점의 타원체 고를 평균하여 210.000m로 일괄 가정하였다. 관측소간 측점간격은 ADRI와 BRIG, BRIG와 SIBY 및 SIBY와 ADRI 각각, 약 70km, 약 58km, 및 약 71km이다.

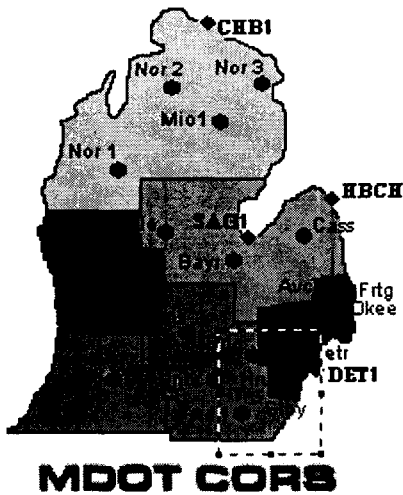


그림 1. MDOT CORS 관측망

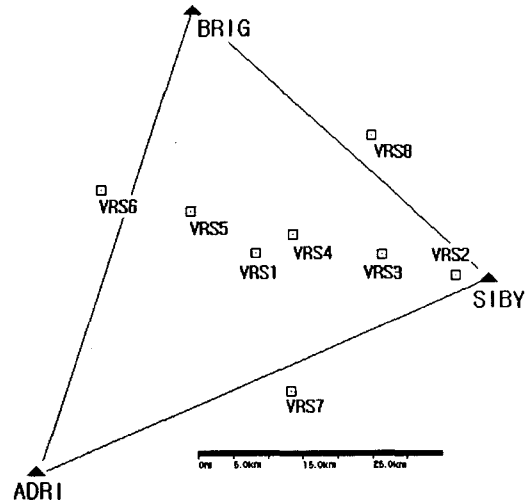


그림 2. VRS 가상기준점 분포

4. 비교분석

ADRI, BRIG 및 SIBY 3점의 GPS 상시관측소에서 관측된 자료를 활용하여 8개 가상기준점에 대한 10분, 18분, 30분, 1시간, 2시간 및 3시간의 인공적 관측자료(epoch 1초)를 각각 산출하였다. 그림 3 및 그림 4는 8개 가상점 생성 시 입력했던 좌표와 SIBY 측점을 고정점으로 하여 해석한 8개 가상점간의 위도성분과 경도성분 및 고도성분의 좌표편차를 각각 도시한 것으로 그림에서 가로축의 가상점 배열순서는 SIBY 측점과 가상점간 기선장의 크기에 따른 것이다. 1시간의 자료해석(DD 고정해)에 의한 SIBY와 VRS2, VRS3, VRS8, VRS4, VRS7, VRS1, VRS5 및 VRS6간의 거리는 각각 $4,827.037m \pm 0.3mm$, $15,712.176m \pm 0.6mm$, $26,600.166m \pm 0.9mm$, $28,730.979m \pm 0.8mm$, $32,572.968m \pm 1.2mm$, $33,694.120m \pm 0.9mm$, $43,894.107m \pm 1.1mm$ 및 $57,149.924m \pm 1.2mm$ 로 산정되었다. 여기서 VRS6, VRS7 및 VRS8 가상점은 3점의 GPS 상시관측소로 구성된 삼각형의 측면에서 약 5km 외부에 위치한 측점들이다. 전체적으로 위도에 비해 경도방향의 편차가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 가상점의 기하학적 분포가 위도방향에 비해 경도방향으로 다양하게 배치된 관계로 사료된다.

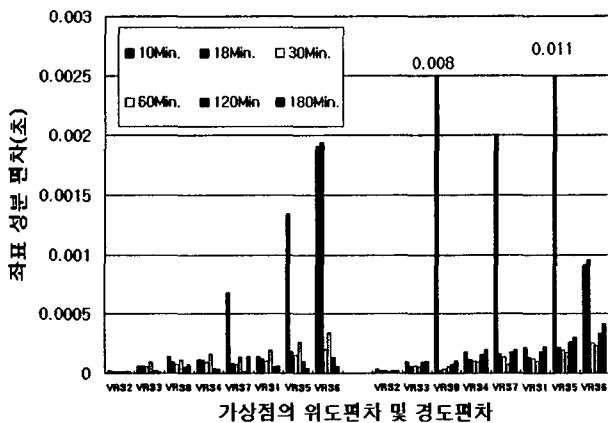


그림 3. 가상측점의 위도·경도성분 좌표편차

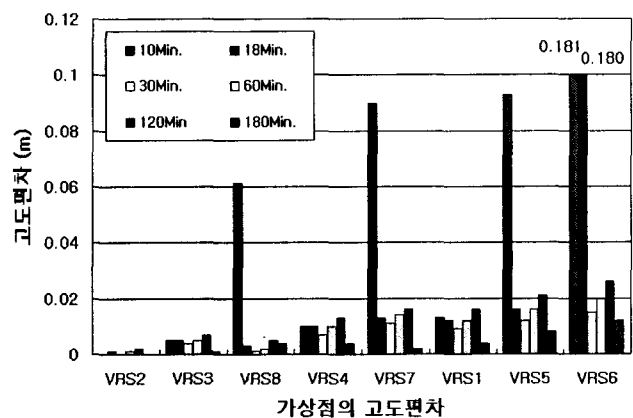


그림 4. 가상점의 고도성분 좌표편차

특히, 그림 3에서 위도편차(좌측부)와 경도편차(우측부) 및 그림 4의 고도편차를 고찰하면 SIBY 측점으로부터 기선장이 증가할수록 각 좌표성분의 편차가 증가하나 GPS 상시관측소로 구성된 삼각형 외부의 가상점, 즉 VRS6, VRS7 및 VRS8 측점과 내부의 측점 중 가장 긴 VRS5 측점들의 관측시간이 10분 및 18

본인 경우를 제외하고는 관측시간 18분을 정점으로 위도와 경도의 경우 ± 0.0001 초의 평균편차를 나타내었다. 고도의 경우는 전체 경우에서 평균편차 약 ± 6 mm를 나타내었으나 기선장이 증가될 경우 관측시간이 증가되어도 일부는 1~2cm의 편차를 나타내고 있다. 그러나 가상기준점의 일반적인 정밀도(수평요소 ± 1 cm, 수직요소 ± 2 cm) 면에서 종합적으로 고찰한다면 본 연구에서 약 58km, 70km 및 71km 세변으로 구성된 GPS 상시관측망 내의 가상기준점의 정밀도는 매우 양호한 것으로 사료되었다. 아울러 삼각형 외부에 존재하는 VRS6, VRS7 및 VRS8 가상점의 경우도 18분 이상의 관측자료를 활용할 경우 각각의 평균 좌표편차는 위도, 경도 및 고도에서 각각 ± 0.0001 초, ± 0.0002 초 및 ± 1.1 cm로 나타났다. 또한, SIBY GPS 상시관측소로부터 20km 이내에 위치한 VRS2, VRS3 좌측에서는 관측시간이 10분인 경우에서도 위도, 경도 및 고도성분 모두 매우 우수한 정밀도를 보이고 있다. 그림 5는 8개 가상점에 대한 가상점 생성시의 3차원 지심좌표와 SIBY 측점을 고정하여 해석한 3차원 지심좌표간의 지심장 편차를 도시한 것이다.

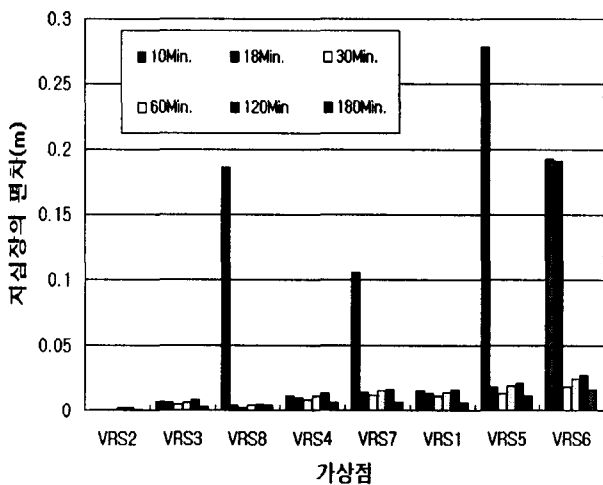


그림 5. 가상측점의 지심 기선장 편차

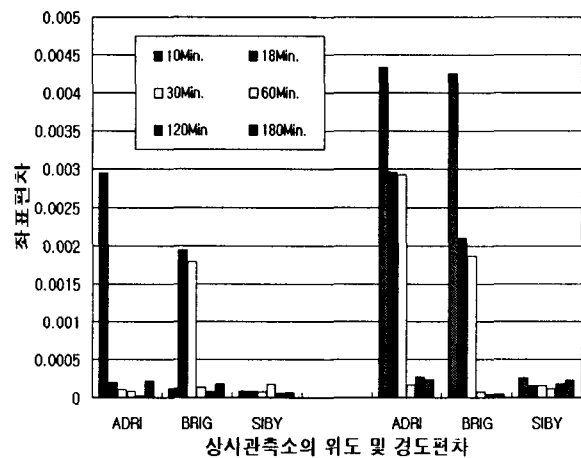


그림 6. 상시관측소의 위도·경도성분 좌표편차

8가지 가상점들의 지심장 편차는 앞서 고찰한 위도, 경도 및 고도성분의 편차 양상과 매우 유사한 경향을 나타내었다. VRS5, VRS6, VRS7 및 VRS8 측점을 제외하고는 관측시간 18분을 정점으로 1mm ~ 1.6cm의 분포로 평균편차 ± 7 mm를 나타내었다.

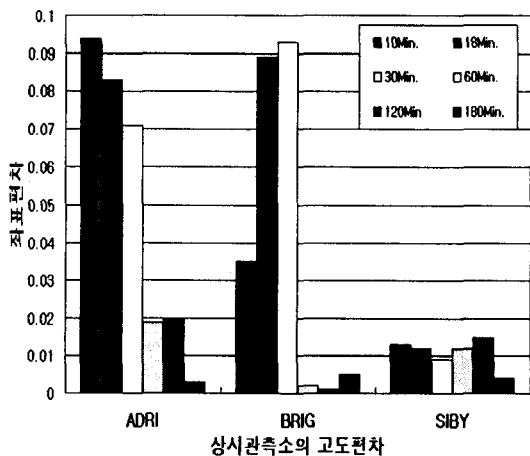


그림 7. 상시관측소의 고도성분 좌표편차

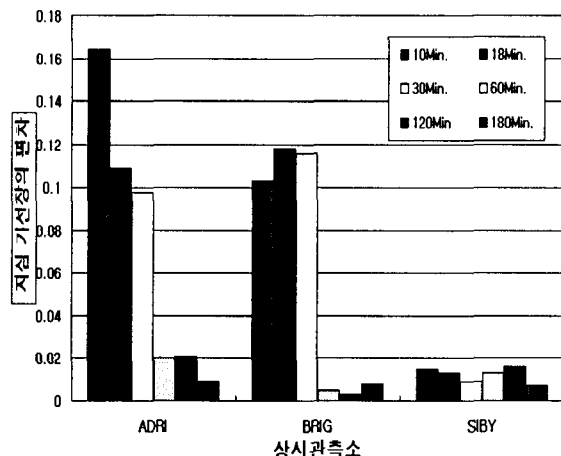


그림 8. 상시관측소의 지심 기선장 편차

삼각형 내부에서 최대 편차는 SIBY 측점에서 가장 멀리 떨어진 VRS5 가상점에서 10분 관측한 경우로 ± 27.8 cm로 나타났다. 특히 VRS1 가상점의 경우, SIBY 측점에서 약 34km 떨어져 있고 VRS4 및 VRS5 측점 중간부에 위치하고 있으나 VRS4 가상점의 편차결과와 매우 근접한 결과를 나타내었는데 이는 기준

GPS 상시관측망의 기하학적 배치상태의 경중률이 가상점 생성에 영향을 준 결과로 사료된다.

그림 6 및 그림 7은 8개의 가상점 중 기하학적으로 GPS 상시관측소로 구성된 삼각형의 중심부에 위치한 VRS1 가상점을 중심으로 하여 역으로 ADRI, BRIG 및 SIBY GPS 상시관측소 간의 위도성분과 경도성분 및 고도성분의 좌표편차를 각각 도시한 것이다. VRS1측점으로 부터 ADRI, BRIG 및 SIBY 측점간의 1시간 관측 자료를 해석한 기선장은 각각 $44,553.258\text{m}\pm 1.5\text{mm}$, $36,187.561\text{m}\pm 1.3\text{mm}$ 및 $33,694.121\text{m}\pm 0.9\text{mm}$ 로 나타났다. 그림 8은 3점의 GPS 상시관측소 본래의 지심좌표와 VRS1 가상점을 고정점으로 산출한 3차원 지심좌표간의 지심장 편차를 도시한 것이다. 그림 6, 그림 7 및 그림 8에서 SIBY 측점의 경우, 관측시간에 따른 편차가 위도, 경도, 고도 및 지심장에서 각각 $\pm 0.0001\text{초}$, $\pm 0.0002\text{초}$, $\pm 10.8\text{mm}$ 및 $\pm 12.2\text{mm}$ 로 전 관측시간대에서 ADRI, BRIG 측점에 비해 양호한 결과를 나타내었는데 이는 SIBY 관측소가 VRS1 가상점에서 가장 가까이 위치한 기선해석의 결과 및 최초 가상점 생성 시 다른 두 관측소에 비해 거리에 따른 경중률의 반영비율이 크게 작용한 점 등의 종합적 결과로 사료된다. 따라서 중심에 위치한 가상점에서 반경 34km 이내의 이동국 측점에 대한 해석의 경우 10분내외의 관측만으로 $\pm 1\text{cm}$ 정확도의 위치결정이 가능한 것으로 판단되었다. 또한, 45km 및 36km 떨어진 ADRI 및 BRIG 관측소의 경우도 1대의 이동국 수신기로 1시간 내외의 위성관측을 수행하여 GPS 상시관측소 자료들로 부터 가상관측점을 생성하므로써 위도와 경도, 고도 및 지심장에서 각각 $\pm 0.0001\text{초}$, $\pm 1.1\text{cm}$ 및 $\pm 12.7\text{cm}$ 의 정확도로 위치를 결정할 수 있었다.

5. 결론

GPS 상시관측망으로 부터 산출된 가상점 자료의 정확도를 검증하는데 목적을 두고 관측망 내외에 다양한 조건의 가상점을 설정한 후, 임의 상시관측소와의 기선해석결과를 가상점 산출시에 적용한 실제 좌표를 기초로 비교함은 물론 관측망의 기하학적 중심에 위치한 가상점을 기준점으로 기존 상시 관측점을 해석하여 실제좌표와의 편차를 종합적으로 고찰한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. GPS 상시관측소의 관측자료를 활용하여 사후처리 방식으로 관측망 내·외부에 가상기준점을 산출할 수 있었다.
2. 산출된 가상점의 정확도를 검증하기 위하여 SIBY 측점을 고정점으로 한 8개 가상점과의 자료해석결과를 실제의 좌표 및 지심장과 비교·고찰한 결과, 관측망 외부 및 일부 내부의 장기선을 제외하고 18분의 관측자료를 전환점으로 경·위도 및 고도에서 각각 $\pm 0.0001\text{초}$ 및 $\pm 6\text{mm}$ 의 평균편차를 나타내므로 GPS 상시관측망 내 가상점의 정밀도가 매우 양호한 것으로 판단되었다.
3. 특히, VRS1 가상점과 상시관측소간의 해석결과 중 SIBY 관측소의 결과가 6가지 관측시간대에서 모두 ADRI, BRIG 측점에 비해 양호한 결과를 나타내었는데 이는 SIBY 관측소가 VRS1 가상점 생성 시 다른 두 관측소에 비해 거리에 따른 경중률의 영향이 상대적으로 크고 기선해석에서 가상점에 가장 가까이 위치한 결과로 사료된다.

참고문헌

1. Georgia Fotopoulos, "Parameterization of Carrier Phase Corrections Based on a Resional Network of Reference Stations", ION GPS 2000
2. Gerhard Wubbena, Andreas Bagge, and Martin Schmitz(2001), "RTK Networks based on Geo+ + GNSMART - Concepts, Implementation, Results", Proceedings of ION GPS 2001.
3. SAPOS, "<http://www.saposnrw.de/>".
4. Lambert Wanninger(2002), "Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning", Proceedings of ION GPS 2002.
5. Gunther RETSCHER, "Accuracy Performance of Virtual Reference Station(VRS) Networks", Journal of Global Positioning Systems, 2002, Vol.1, No.1:40-47.
6. MDOT, <http://www.mdotcors.org/>