

이중 GPS 기준국 관측정보를 이용한 단일주파수 수신기의 측위 정확도 향상

최병규^{1,2†}, 박종욱¹, 이상정²
¹한국천문연구원 위성항법기술그룹
²충남대학교 전자공학과

Improvement of the Positioning Accuracy of a Single Frequency Receiver Using Observables of the Dual GPS Reference Stations

Byung-Kyu Choi^{1,2†}, Jong-Uk Park¹, and Sang-Jeong Lee²

¹GNSS Technology Group, Korea Astronomy & Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

²Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

E-mail: bkchoi@kasi.re.kr

(Received July 1, 2008; Accepted August 20, 2008)

요 약

민간과 상업응용분야의 성장과 함께 위치정보, 항법 그리고 시각정보를 제공하는 전지구 위성항법시스템(GNSS)은 우리의 삶에 많은 영향을 주고 있다. 사용자들의 요구사항을 맞추기 위해 10cm급의 정확도를 갖는 새로운 측위기술이 적용되고 있으며, 측위정확도는 더욱 향상 되어가고 있다. 이 연구에서는 GPS L1 수신기 사용자의 측위정확도 향상을 위해 두개의 GPS 기준국(DAEJ, SUWN) 관측정보를 이용하였고, 한반도내 넓은 범위의 실험지역으로부터 얻어진 데이터를 자료처리 하였다. 결과적으로 이중 GPS 기준국에 의해 산출된 조합해가 단일 기준국에 의한 결과보다 향상된 위치정확도를 보였다.

Abstract

With the growth of civil and commercial applications, the Global Navigation Satellite System(GNSS) that provides the positioning, navigation, and timing information affects to our life. In order to meet all the requirements of civilian user, new positioning technology with the accuracy of 10cm level has been applied and the positioning accuracy is getting improved. In this study, dual coverage(DAEJ, SUWN) GPS measurements were applied to improve the positioning accuracy for GPS L1 single frequency users. We processed some GPS data obtained from the distributed test sites in the wide area over Korea Peninsula. As a result, the combined solution output using dual coverage showed more improved positioning accuracy than that of single coverage.

Keywords: GPS, dual coverage, single coverage, positioning accuracy

†corresponding author

1. 서 론

GPS 측위기술의 지속적인 발전, 통신인프라 및 각종 장비의 성능향상 그리고 지상기반 보정시스템(Differential Global Positioning System, DGPS) 등은 실시간으로 정밀한 측위정보를 제공하는 것을 가능하게 한다. 일반적으로 지상기반 고정밀 GPS 측위서비스를 제공받기 위해서는 GPS 기준국과 사용자의 거리가 20km 이내로 제한된다. 이러한 거리의 제한은 GPS 신호가 통과하는 공간상의 매질특성과 밀접한 관련이 있으며, 태양활동 극대기 또는 국지적인 악기상 등에 의해 그 적용범위가 더욱 축소될 수 있다(Klobuchar 1987, Teunissen & Kleusberg 1998).

광범위한 지역에서도 안정적이고 우수한 측위결과를 제공하기 위해 일본, 독일, 미국 등 선진국에서는 가상기준국(Virtual Reference Station, VRS) 시스템, Network-based RTK(Real-Time Kinematic)와 같은 GPS 기준국망을 활용하여 추가적인 오차보정정보를 생성하여 제공하는 시스템을 독자적으로 개발하여 운용하고 있다(Vollath et al. 2000, Wanninger 2002, Rizos 2002). 즉, 데이터통신 가용용량의 확대에 의해 많은 정보의 전송이 가능해져 측위시스템의 서비스 제공범위를 100km 이상까지 확장하고 있다. 또한 기존에 단일 기준국 정보를 전송하여 처리하던 방법에서 점점 GPS 기준국망을 활용하는 네트워크 기반 고정밀 측위분야가 활성화되고 있는 추세에 있다. 현재는 장기선에서도 실시간으로 고정밀 GPS 위치서비스가 가능하고, 시스템의 무결성(Integrity)과 가용성 그리고 안정성 확보를 위해 계속적으로 연구개발을 수행하고 있다(James 2007).

국내의 경우, 국토해양부 소속의 위성항법중앙사무소에서 실시간으로 선박의 안전한 운항을 위해 정밀 위치정보서비스를 제공하고 있고, 동 기관 소속의 국토지리정보원은 행정안전부에서 설치·운영하고 있던 GPS 기준국들을 통합하여 더욱 정밀한 가상기준국 정보를 생성하고 있다. 이처럼 국내에서도 실시간 고정밀 측위를 위한 인프라 구축과 연구가 수행되고 있다.

두개의 GPS 기준국 관측정보를 동시 적용하는 방법은 미국의 HA-NDGPS(High Accuracy National Differential Global Positioning System) 시스템에서 처음 소개가 되었으며, 이 연구에서는 기존 HA-NDGPS에서 제시했던 방법을 GPS L1 수신기 사용자들에게 적용하여 위치정확도를 향상시키기 위한 방안을 모색하였다. 그리고 한국천문연구원에서 독자적으로 개발한 대기오차모델을 적용하였다. 마지막으로 이 연구를 통해 산출된 결과를 기존의 단일 GPS 기준국을 이용하여 처리한 결과와 비교·분석 하였다.

2. 적용방정식

GPS 신호가 통과하는 공간상의 서로 다른 매질특성과 지형적인 형상은 GPS 위치정확도와 깊은 관련이 있으며, 특히 기준국과 사용자와의 두지점간 기선거리가 멀어질 경우, 위치오차에 대한 불확실성은 커지게 된다.

일반적으로 GPS 수신기에는 L1(1575.42MHz)과 L2(1227.60MHz) 두 주파수를 모두 수신할 수 있는 이중 주파수용 수신기와 L1 주파수만 수신하는 단일 주파수용 수신기가 있다. 이중 주파수용 수신기는 고가인 반면에 신호조합을 통해 전리층 오차 등을 제거 할 수 있어 측위오차를 감소시킬 수 있지만, 단일 주파수 수신기는 대기오차모델링을 통해 측위정확도를 향상시킬 수 있다(Komjathy 1997).

고정밀의 측위정보를 얻기 위해서는 상대적으로 코드에 비해 해상도가 뛰어난 반송파 위상 정

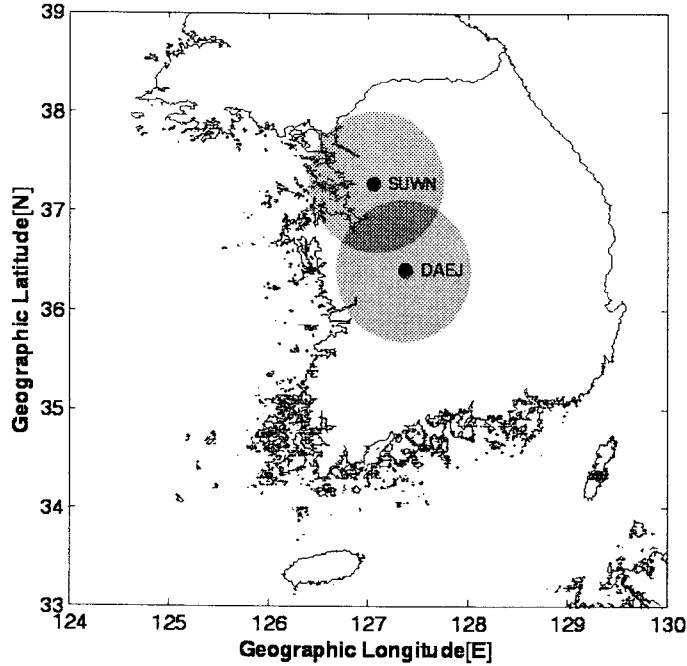


그림 1. 이중 GPS 기준국과 가상의 적용범위.

보(Carrier Phase)를 처리하는 것이 필수적이지만, 초기 모호정수(Integer Ambiguity)를 결정해야하는 문제점이 있다(Erickson 1992, Fotopoulos & Cannon 2001). 또한 도심지역과 같이 관측환경이 좋지 않은 곳에서는 오히려 다중경로 오차 및 신호 끊김(Cycle-slip) 현상이 자주발생하기 때문에 고정밀 측위에 더욱 나쁜 결과를 초래하기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 의사거리(Pseudorange)와 반송파 위상 정보를 동시에 활용하는 경우가 많다.

이 연구에서도 의사거리와 반송파 위상 정보를 관측시간별로 데이터를 동시에 이용하였다. GPS의 L1 주파수의 경우 위성과 수신기에 의해 이중 차분된 의사거리 데이터($\Delta\nabla P_1$)와 반송파 위상($\Delta\nabla\Phi_1$)은 각각 식 (1, 2)와 같다(Klobuchar 1987).

$$\Delta\nabla P_1 = (\Delta\nabla\rho + \Delta\nabla T_{rop} + \Delta\nabla I_{ono} + \Delta\nabla MP + \Delta\nabla\epsilon) \quad (1)$$

$$\Delta\nabla\Phi_1 = \frac{1}{\lambda}(\Delta\nabla\rho + \Delta\nabla T_{rop} - \Delta\nabla I_{ono} + \Delta\nabla MP + \Delta\nabla\epsilon) + \Delta\nabla N_1 \quad (2)$$

여기에서, $\Delta\nabla\rho$ 는 GPS 위성과 수신기의 기하학적인 거리를 이중 차분한 것이고, $\Delta\nabla T_{rop}$ 은 이중 차분된 대류층 오차, $\Delta\nabla I_{ono}$ 는 이중차분된 전리층 오차, $\Delta\nabla MP$ 는 이중차분된 다중경로 오차, $\Delta\nabla\epsilon$ 는 이중 차분된 수신기 잡음, λ 는 L1 주파수 파장($\sim 19.04\text{cm}$), 그리고 $\Delta\nabla N_1$ 는 이중차분된 L1 모호정수(Integer Ambiguity)이다.

식 (1)과 (2)에서 제시한 오차 이외에 위성의 고도에 따른 안테나 위상중심 변화 오차와 위상 말림(Phase wind-up) 등에 의한 오차는 이 연구에서 고려를 하지 않았다. 일반적인 경우에 GPS 기준국과 사용자의 공통된 관측정보를 활용하여 식 (1)과 (2)처럼 이중차분을 하면 위성시계와 수신기 시

표 1. DAEJ(대전)와 SUWN(수원) GPS 기준국 고사좌표.

Ref.	Longitude	Latitude	Hight(m)
DAEJ	127°22'28."12	36°23'57."95	116.840
SUWN	127°03'15."26	37°16'31."85	83.816

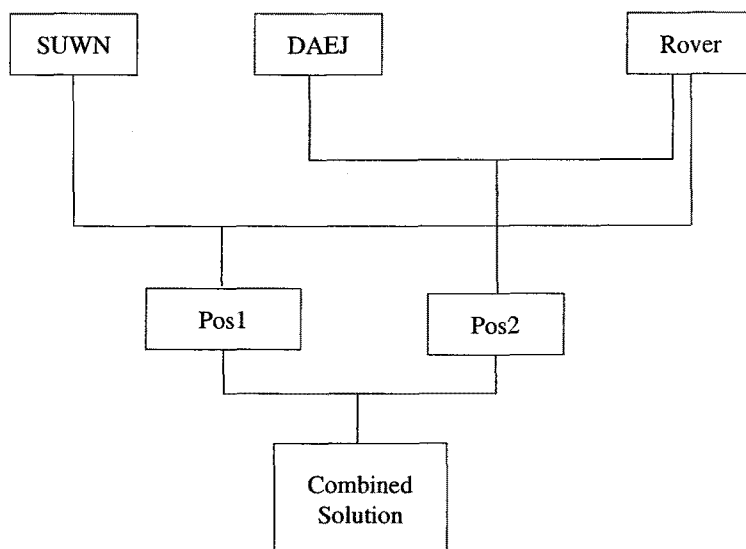


그림 2. 이중 GPS 기준국 이용 자료처리 개념도.

계오차는 제거되며, 기선이 짧은 경우(20km 이내)에는 전리층, 대류층에 의한 오차도 공통오차로서 제거된다고 가정을 한다. 그러나 기선이 멀어지면 GPS 신호가 통과하는 공간상의 매질특성이 다르기 때문에, 대기 오차를 정밀하게 모델링하여 위치정확도가 현저하게 떨어지는 것을 보완할 수 있다(최병규 외 2007). 이 연구에서는 모델링에 의한 오차보정정보 적용 이외에 두개의 기준국 관측정보를 동시에 이용하였다.

3. 자료처리 방법

기존에 단일 GPS 기준국 관측정보를 이용하는 방법과는 달리, 그림 1처럼 두개의 GPS 기준국을 선택하여 관측정보를 매 관측시간별로 동시에 이용하였다. 측위가 가능한 적용범위는 최대 200km까지 한정을 하였고, 표 1에 고시된 GPS 기준국 좌표를 측위에 사용하였다. 그리고 GPS 기준국망을 이용한 전리층과 대류층의 오차보정정보를 자료처리에 적용하였다. 앞서 언급했듯이 자료처리에 사용된 기준국 정보는 국제 GPS 기준점(Internation GNSS Service, IGS)으로 운용중인 DAEJ(대전)과 SUWN(수원) 데이터이다. 그리고 GPS 기준국의 수신기는 모두 Trimble사의 NetRS GPS 수신기이며, 자료처리의 효율성을 높이기 위해 원시관측정보를 RINEX (Receiver Independent Exchange) 형식으로 변환하여 사용하였다. 일반적으로 고정밀 자료처리에 많이 사용하는 상대측위(Relative

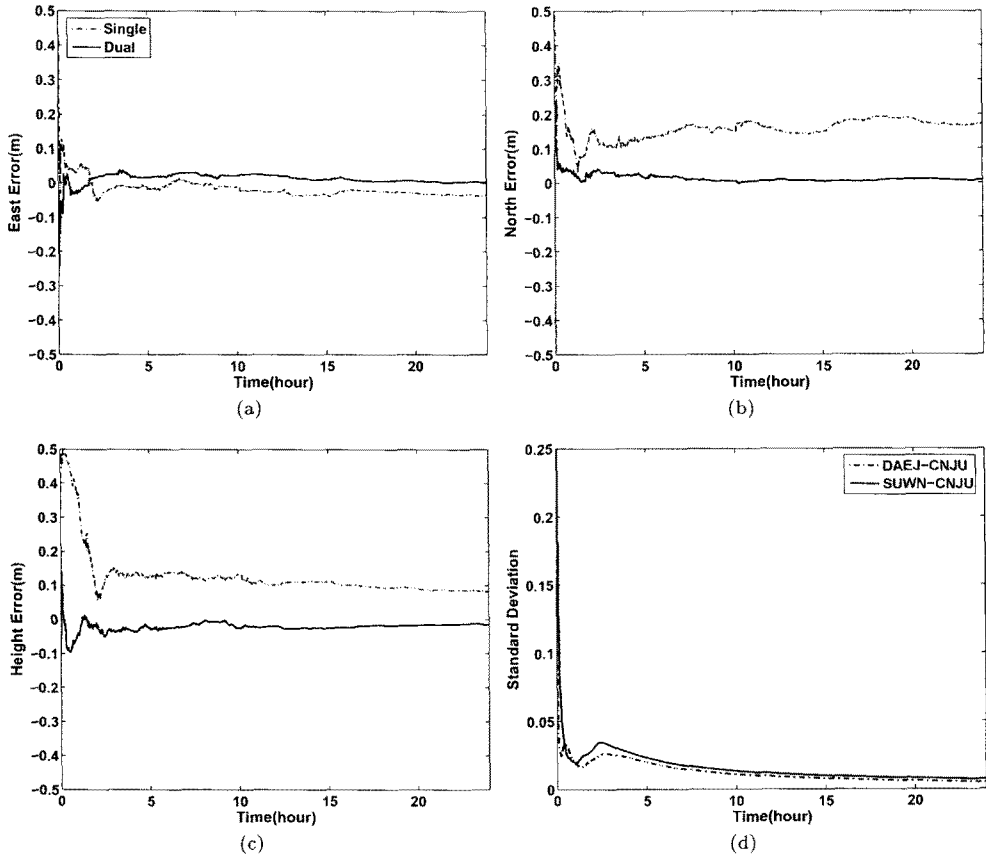


그림 3. CNJU 실험지점의 위치정확도 비교. (a) East 위치오차, (b) North 위치오차, (c) Height(Up) 위치오차, (d) 표준편차의 변화

Positioning) 기법을 적용했고, 실험지역 모두 기준국으로부터의 기선거리가 20km 이상인 중·장기선이기 때문에 기준국과 사용자간의 신호오차정보를 각각 달리 적용하였다. 또한 자료처리 간격은 매 관측시간별(Epoch by Epoch)로 관측된 정보가 순차적으로 처리될 수 있도록 구성하였다. 특히 반송파 위상 데이터처리의 핵심이 되는 모호정수 추정은 MLAMBDA(Modified Least Square AMBiguity Decorrelation Adjustment) 기법을 사용했다.

먼저 각각의 기준국과 사용자의 GPS L1 관측정보에 의해 위치정보가 먼저 산출되고, 다음으로 사용자 위치정보(ITRF 2000)와 확장칼만필터(Extended Kalman Filter)로부터 산출된 6개의 표준편차(σ)를 적용하여 식 (3)과 같이 해를 조합하여 최종해를 다시 산출한다(James 2007). 그림 2는 자료처리의 개념을 나타낸다.

$$x = \frac{\frac{x_1}{\sigma_{x_1}^2} + \frac{x_2}{\sigma_{x_2}^2}}{\frac{1}{\sigma_{x_1}^2} + \frac{1}{\sigma_{x_2}^2}} \quad y = \frac{\frac{y_1}{\sigma_{y_1}^2} + \frac{y_2}{\sigma_{y_2}^2}}{\frac{1}{\sigma_{y_1}^2} + \frac{1}{\sigma_{y_2}^2}} \quad z = \frac{\frac{z_1}{\sigma_{z_1}^2} + \frac{z_2}{\sigma_{z_2}^2}}{\frac{1}{\sigma_{z_1}^2} + \frac{1}{\sigma_{z_2}^2}} \quad (3)$$

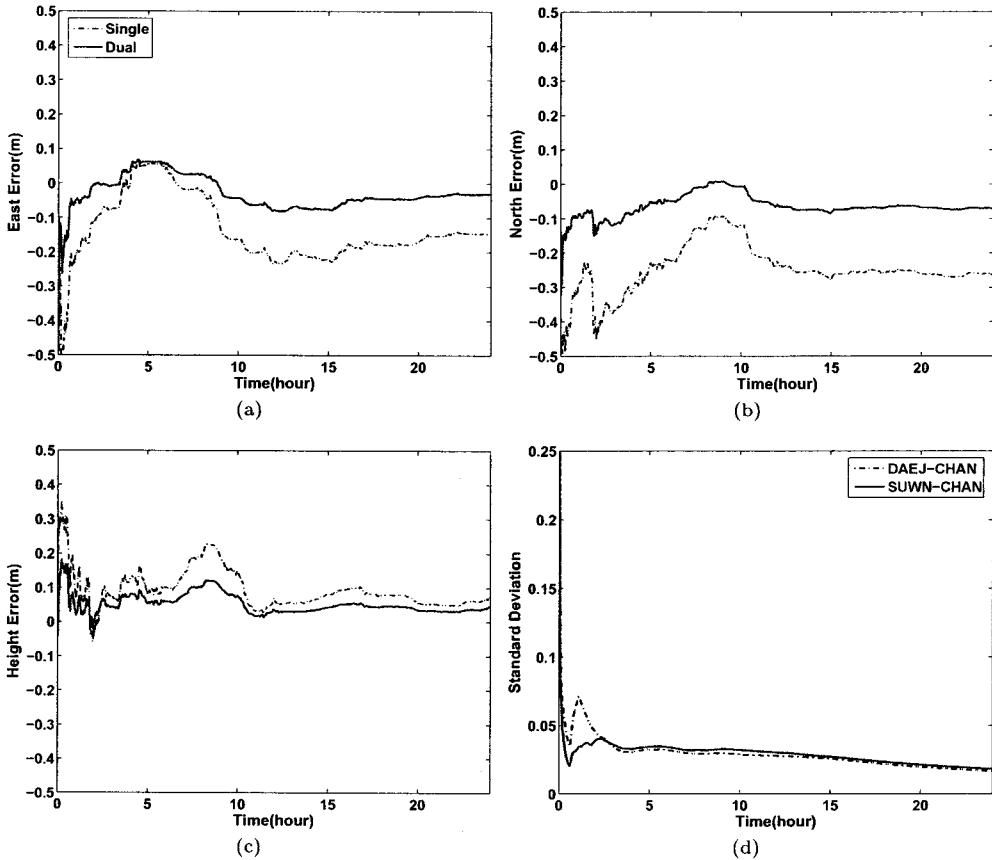


그림 4. CHAN 실험지점의 위치정확도 비교. (a) East 위치오차, (b) North 위치오차, (c) Height(Up) 위치오차, (d) 표준편차의 변화

여기에서, 위치정보(x_1, y_1, z_1)와 (x_2, y_2, z_2)는 각각의 기준국 관측정보에 의해 계산된 정밀 위치를 의미한다. 고정밀 상용 GPS 자료처리 프로그램인 Bernese 5.0에 의해 산출된 위치를 참값이라 가정하고, 이 연구를 통해 산출된 결과와 비교하였다.

4. 자료처리 결과

2006년 1월 1일, DAEJ와 SUWN GPS 기준국에서 수집된 관측정보와 각각의 실험지역(CNJU(청주), CHAN(천안), GSAN(괴산), JUNJ(전주) 그리고 SEOS(서산))에서 획득된 관측정보를 이용하여 정적모드(Static Mode)로 자료처리를 수행하였다. 자료처리를 수행한 5곳 중, CNJU와 CHAN에 대해 위치오차를 자세히 비교 분석하였다. 위에서 언급한 모든 실험지역은 GPS 기준국에서 기선거리로 20km 이상 떨어진 곳으로 실시간 이동측위 범위를 벗어난 곳이다. 그림 3은 CNJU 실험지역의 정적측위 자료처리 결과를 ENU(East-North-Up) 항법좌표계의 위치오차로 나타낸 것이다. CNJU는 DAEJ와 SUWN GPS 기준국으로부터 각각 기선거리가 26.4km, 80.5km 떨어진 지점이

표 2. 자료처리방법에 따른 성분별 오차.

Test Points	Coverage	Error components (meter)			Baselines (km)		3d rms (m)
		east	north	up	d1	d2	
CNJU	dual	0.0220	0.0193	0.0254	26.410	80.594	0.0388
	single	0.0316	0.1639	0.1465			0.2221
CHAN	dual	0.0560	0.0711	0.0604	56.612	45.020	0.1088
	single	0.1699	0.2573	0.1105			0.3276
GSAN	dual	0.04583	0.1107	0.0665	59.156	82.737	0.1371
	single	0.3179	0.0894	0.1662			0.3697
JUNJ	dual	0.0383	0.0552	0.0746	65.347	159.077	0.1003
	single	0.0646	0.2058	0.1974			0.2924
SEOS	dual	0.0807	0.1258	0.0296	89.194	74.507	0.1524
	single	0.1312	0.3262	0.0616			0.3570

다. 그림 3a,b 그리고 3c는 Single(단일 기준국)과 Dual(이중 기준국) 관측정보를 이용하여 상대측위 기법을 적용한 후, 산출된 위치오차를 매 관측시간대별(Epoch by Epoch)로 표시한 것인데, CNJU의 경우 이중기준국 관측정보를 동시 이용했을 때에는 표 2에 나타난 것처럼 3차원 rms(root mean square)로 약 3.88cm의 위치오차가 발생했고, 단일 기준국 관측정보를 적용 했을 때에는 3차원 rms로 약 22.21cm의 위치오차가 발생했다. 결과적으로 이중기준국 관측정보를 이용했을 때에는 단일 기준국 관측정보를 이용했을 때보다 위치정확도가 향상됨을 알 수 있었다. 또한 그림 3d는 각 기선별 자료처리에 대한 표준편차의 변화를 나타낸 것으로 식 (4)를 이용했다. CNJU 실험지역의 자료처리 결과를 종합적으로 분석해보면 이중 기준국 관측정보로부터 조합된 해가 단일 기준국을 이용해서 산출된 결과보다 측위오차가 상대적으로 안정적이고, 항법좌표계에서 각 성분별 위치오차가 3cm 이내로 우수한 결과가 산출됨을 알 수 있었다.

$$STD_{rms} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2 + \sigma_u^2} \quad (4)$$

그림 4는 CHAN 실험지역의 정적측위 자료처리 결과이다. CHAN은 DAEJ과 SUWN GPS 기준국으로부터 각각 56.612km, 45.020km 떨어져 있고, 이전 결과와 마찬가지로 이중 기준국 관측정보에 의해 처리된 결과를 단일 기준국 관측정보에 의해 처리된 결과와 비교해 볼 때, 상대적으로 향상된 결과가 산출되었다. 그림 3의 CNJU 측위결과와 비교하면 측위오차가 상대적으로 크게 나타났는데, 이것은 기선거리 및 실험지역의 주변 환경에 의한 영향으로 분석된다.

표 2는 CNJU, CHAN 외에 3개의 실험지역 모두에 대해 정적 측위한 자료처리결과를 나타낸 것이다. 표 2에는 자료처리 형태에 따른 성분별 오차, 기준국과 사용자간의 기선거리 그리고 ENU 항법좌표계의 성분별 오차에 대한 3차원 rms를 함께 표기했다. 이중 기준국 관측정보를 동시에 이용한 자료처리 결과가 모든 실험지역에서 단일 기준국 관측정보에 의한 자료처리 결과보다 우수한 위치정확도 향상을 보였다. 또한 모든 실험지역에 의해 산출된 측위오차를 3차원 rms로 평균을 낸 결과 이중기준국 관측정보를 이용했을 때, GPS L1 단일주파수 사용자들의 위치정확도가 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 몇몇 실험지역 자료처리에서 높이(Height) 방향의 오차가 상대적으로 크게 나타났는데, 이것은 장기선 자료처리에 따른 모호정수 추정 및 결정의 문제와 주변 환경적인 영향, 상층대기 오차모델의 정확도 차이로 인해 특정방향의 오차 성분이 크게 나타난 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구에서는 GPS L1 단일주파수를 사용하는 사용자의 측위정확도 향상을 위해 이중 기준국 관측정보를 동시에 이용하였다. 또한 이중 기준국 관측정보를 이용한 정적 측위 결과와 단일 기준국 관측정보에 의해 처리된 결과를 서로 비교하였다. 총 5개의 실험지역에 대해 자료 처리한 결과, 이중 기준국에 의한 결과가 단일 기준국에 의한 결과보다 상대적으로 높은 위치정확도 향상을 보였다. 이것은 두개의 GPS 기준국 관측정보를 동시에 위치결정에 사용함으로써 상호보완적인 측면에서 최종해가 안정적으로 산출된 것으로 판단된다.

따라서 이 연구를 통해 상대적으로 기선거리가 먼 지역에서도 높은 위치정확도를 산출할 수 있는 기반이 마련되었으며, 결과물은 일반측량 및 기타 고정밀 우주측지 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- 최병규, 이상정, 박종욱, 조중현 2007, 한국측량학회지, 25, 400
- Erickson, C. 1992, in ION GPS-92, ed. ION Publications department (Albuquerque: Albuquerque Convention Center), pp.39-42
- Fotopoulos, G. & Cannon, M. 2001, GPS Solutions, 4, 3
- James, A. 2007, in ISART, ed. M. R. John (Colorado: Boulder Labs), pp.100-106
- Klobuchar, J. A. 1987, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 23, 325
- Komjathy, A. 1997, PhD Thesis, University of New Brunswick
- Rizos, C. 2002, Journal of Global Positioning Systems, 1, 2
- Teunissen, P. & Kleusberg A. 1998, GPS for Geodesy (Berlin: Springer Verlag), pp.540-546
- Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C., & Wagner, B. 2000, in ION GPS-2000, ed. ION Publications department (Salt Lake City: Salt Palace Convention Center), pp.123-131
- Wanninger, L. 2002, in ION GPS-2002, ed. ION Publications department (Oregon: Oregon Convention Center), pp.1400-1407