

저가의 GPS 모듈에 DGPS 기술을 이용한 위치측정정확도 개선에 관한 연구

A study on improvement of positioning accuracy using DGPS technique with low cost GPS modules

이창복* · 안준석** · 주세철*** · 김기두****

Lee, Chang-Bok · Ahn, Jun-Suk · Chu, Se-Chul · Kim, Ki-Doo

요 旨

저렴한 가격의 GPS 모듈로 정확한 위치를 측정하기 위해서 differential GPS 기술을 적용하였다. 2대의 C/A 코드 GPS 모듈을 이용한 DGPS 위치측정실험결과 위성별의 PDOP가 2-3 정도인 경우 5 미터 이내의 정확도, PDOP가 9 정도인 경우에도 필터를 통해 10 미터 정도의 정확도를 얻었다. 또한 약 140 km 떨어진 국민대(서울)에서 한국표준과학연구원(대전)의 기준수신기의 보정데이터를 이용한 DGPS 실험결과 약 10 미터 이내의 정밀도를 갖고 있었다. 이는 GPS 모듈 자체의 위치측정 정밀도에 비해 10배 이상 좋은 정밀도이다. 국내에서는 1개의 기준국의 DGPS 서비스로 거의 실시간, 약 10 미터의 정확도로 위치측정이 가능하다.

ABSTRACT

Accurate positioning method using low cost GPS modules is proposed, which use the technique of differential GPS. DGPS experiments have been made using two coarse-acquisition (C/A) code GPS modules. Position accuracy of better than 5 m was obtained for position dilution of precision (PDOP) of 2-3 and that of better than 10 m after filtering was obtained for PDOP of about 9 in a local area. Static DGPS experiments were performed at Kookmin university with the DGPS correction data of KRISS reference station at Taejon. The distance between two stations is about 140 km. The results show that precision of the position is about 10 m (2 drms), which is ten times better than the results with the GPS module alone. Accuracy of about 10 meters can be obtained in near real time by the DGPS service with a reference station in our country.

1. 서 론

GPS(Global Positioning System) 시스템¹⁾은 미국에 의해 개발되어 전 세계적으로 이용되고 있는 위성항법 시스템으로 개발초기 실험단계에서는 GPS 위성을 이용한 위치측정의 경우 10~20 m 정도의 정확도를 갖고 있었다. 그러나 현재 운용중인 24개의 GPS 위성들은 시스템 제어국이 군사적인 목적에 의해 위치 측정의 정확도를 임의로 변경시켜서(S/A : selective

availability)²⁾ 약 100 미터 정도의 정확도로 위치측정³⁾이 가능하다. 이러한 S/A에 의한 위치측정오차는 위성궤도정보의 조작 및 위성탐재시계의 기준주파수 변동 등으로 발생된다. 이로 인한 위치측정오차는 정확한 위치를 알고 있는 기준국에서 위성신호를 수신하고 분석함으로써 제거될 수 있다. 이와같이 S/A에 의한 오차, 전리층⁴⁾과 대류권에서의 전파지연에 의한 오차 등과 같이 모든 이용자에게 공통적인 바이어스 오차를 기준국에서 측정하여 이용자들에게 전송하여 정확한 위치를 측정하는 기술을 differential GPS 기술^{5,6)}이라 한다. DGPS 기술을 이용한 위치측정오차는 위성별의 PDOP가 커질수록, 기준국과 이용자 사이의 거리가 멀어질수록 커진다. 기준국과 이용자 사이의

*한국표준과학연구원 전자기연구부 공학박사

**한국표준과학연구원 전자기연구부 선임기술기능원

***국민대학교 전자공학과 대학원

****국민대학교 전자공학과 교수

거리가 200 km 이내일 때 약 5~10 미터 정도의 위치정확도를 얻을 수 있다. 이용자는 기준국에서 송신한 위성과 기준국 사이의 의사거리오차(pseudo range error) 또는 위치측정오차를 이용하여 측정값을 보정함으로써 정확한 위치를 계산할 수 있다. 또한 DGPS 방법을 이용한 위치측정기술은 건물이 많은 도시나 산악지형과 같이 PDOP가 큰 지역에서도 위치측정의 정확도를 향상시킬 수 있는 기술이다. 미국 등의 선진국에서는 이용자들에게 넓은 지역에서 고정확도의 위치측정이 가능하도록 WADGPS⁷⁾(wide area differential GPS) 또는 AGPS(augmented GPS)⁸⁾와 같은 시스템을 구성하여 위치측정의 정확도를 5 미터 이내로 하려는 계획이 실현단계에 있다. 국내에서는 고가의 측량용 GPS 수신기를 이용하여 GPS 측지기준점의 설정에 관한 연구⁹⁾로 기선(baseline)의 거리가 100 km 이상인 경우에도 거리측정정밀도가 0.1 ppm에 이를 정도로 고정밀정확한 측정이 가능하게 되었다. 그러나 일반이용자가 이 방법을 이용하려면 고가의 GPS 수신기를 구입해야 하고 데이터 분석에 시간이 소요되므로 고정확한 측량, 측지 등의 목적을 가진 이용자 이외에는 수신기 비용등 여러 면에서 어려움이 있다. 따라서 일반이용자에게 저가의 GPS 수신기를 이용하여 실시간으로 10 미터 정도의 정확도로 항법 및 위치측정을 제공하기 위해서는 현재의 GPS 위성에 의한 위치측정값들의 오차를 실시간으로 보정하여 이용자에 제공하는 DGPS 위치보정 시스템이 필요하다. 이용자는 저가(백만원 정도)의 수신기로 기준국에서 제공되는 데이터를 수신하여 자신의 정확한 위치(10 미터 이내)를 알 수 있게 된다.

본 논문에서는 저가의 상용 GPS 모듈과 모뎀을 이용한 DGPS 시스템을 구성하고 이를 이용한 고정확도 위치측정실험을 하였고 그 결과를 분석하였다.

2. Differential GPS의 원리 및 오차요소

Differential GPS의 개념은 그림 1과 같다. 기준국에 GPS 수신기를 설치하고 GPS 위성신호의 오차를 전송하면 이용자는 기준국에서 송신한 보정데이터로 자신의 위치측정값을 보정한다. DGPS 기술은 데이터를 보정하는 방법에 따라 다음 3가지 방법으로 구분할 수 있다.

첫번째 방법(DGPS-A 방법)은 정확한 위치를 알고

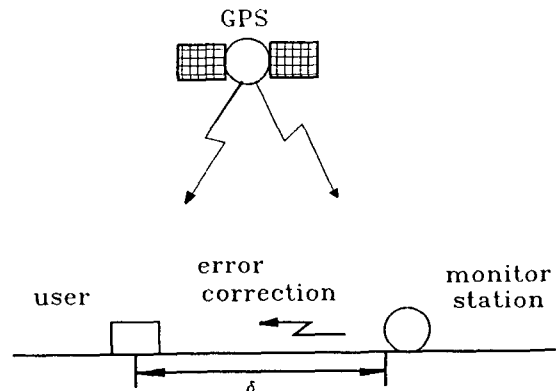


그림 1. Differential GPS의 개념

있는 기준점에 GPS 수신기를 설치하고 기준국의 실제위치와 측정된 위치와의 차이 값 ΔX , ΔY , ΔZ 데이터를 이용자에게 전송하는 방법으로 기준국과 이용자는 동일한 위성셀을 선택해야 한다. 기준국과 이용자 사이의 거리가 멀어지면 동시에 선택가능한 위성셀의 PDOP가 커지게 되고 보정데이터의 유효성도 떨어진다. 이 방법은 수백 km 이내에서 유효한 위치측정방법으로 DGPS 기준국을 여러 곳에 설치함으로써 이용범위를 확대할 수 있다.

두번째 방법(DGPS-B 방법)은 기준국과 수신 가능한 모든 GPS 위성들에 대한 의사거리(pseudo-range)를 측정하고 의사거리 보정데이터를 이용자에게 전송하는 방법¹⁰⁾이다. 기준국에서는 모든 위성에 대한 의사거리 보정값을 이용자들에게 제공한다. 이용자는 기준국에서 전송한 의사거리 보정데이터로 이용자수신기의 의사거리 측정값들을 보정하여 이용자의 위치를 정확하게 계산할 수 있다.

세번째 방법(DGPS-C 방법)은 기준국에서 모든 위성들의 의사거리 보정값들을 GPS 위성과 동일한 주파수, 같은 데이터 형태로 전송하는 방법이다. 이용자는 의사위성(pseudo-satellite)의 보정데이터를 GPS 위성의 항법정보와 같이 처리하여 항법해를 구한다. 이 기술은 3개의 위성이 수신될 때에도 위치측정이 가능하며 VDOP(Vertical Dilution of Precision)가 개선되는 장점을 갖는다. 이런 세가지 방법들은 모두 기준국과 이용자 사이의 데이터 통신망이 형성되어야 한다.

그림 2는 DGPS 방법에 의한 거리측정오차를 나타낸 것이다. $S_{assumed}$ 에 있는 위성에서 시각 $t + \Delta t$ 에

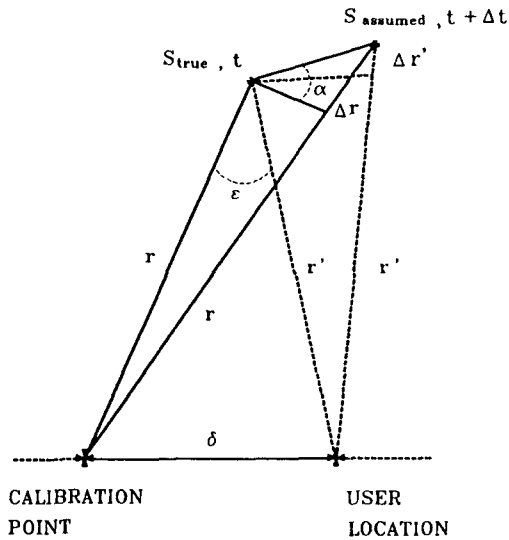


그림 2. 기준국과 이용자의 거리에 따른 오차

송신한 항법정보는 실제로는 $S_{true, t}$ 에 있는 위성에서 시각 t 일 때 송신한 것이다. 이러한 위성위치 및 송신 시각의 불일치는 위성의 궤도정보와 위성시계오차, S/A에 의해서 발생된다. 위성신호를 수신한 시각과 수신 예상시각은 식(2-1), (2-2)와 같다.

$$t_{\text{signal received}} = \frac{r_{\text{true}}}{c} + t \quad (2-1)$$

$$t_{\text{signal expected}} = \frac{r_{\text{true}} + \Delta r}{c} + t + \Delta t \quad (2-2)$$

여기서 c 는 빛의 속력(3×10^8 m/s)이다. 위성의 궤도정보 및 위성탑재시계의 오차에 의한 기준국의 전 체오차는 식(2-1)과 식(2-2)의 차, $\frac{\Delta r}{c} + \Delta t$ 와 같고 기준국으로부터 δ 만큼 떨어진 곳의 이용자의 경우 전 체오차는 $\frac{\Delta r'}{c} + \Delta t$ 이므로 이용자의 위치에서 생긴 의사거리오차는 식(2-1)과 식(2-2)의 차이에 빛의 속력을 곱한 값으로 식(2-3)과 같이 표현할 수 있다.

$$e = \Delta r - \Delta r' \quad (2-3)$$

$$e \cong d \sin \alpha - d \sin(\alpha - \epsilon) \quad (2-4)$$

$$e \cong d (\sin \alpha - \sin \alpha \cos \epsilon + \sin \epsilon \cos \alpha) \quad (2-5)$$

만약, ϵ 이 작다고 가정하면 식(2-5)는 식(2-6)과 같이 표시할 수 있다.

$$e \cong \epsilon d \cos \alpha \quad (2-6)$$

또한, ϵ 은 식(2-7)의 조건을 만족한다.

$$\epsilon \leq \delta / r \quad (2-7)$$

따라서,

$$e \leq \frac{\delta d}{r} \cos \alpha \quad (2-8)$$

특히, $\alpha = 0$ 인 경우 가장 큰 오차가 발생되므로 식(2-9)로 표시할 수 있다.

$$|e| \leq \frac{\delta d}{r} \quad (2-9)$$

여기서 δ 는 기준국과 이용자 사이의 거리, d 는 위성의 궤도오차, r 은 위성의 고도이다. $\delta = 100$ km이고 $d = 1$ km, $r = 20,000$ km인 경우 이용자의 최대거리오차, $|e|$ 는 5 미터보다 작다. 의사거리 보정치, $\Delta r + c \Delta t$ 는 위성신호의 계산된 도착시간과 실제 도착시간의 차에 의해서 구해진다. 위성과 이용자간의 거리측정오차는 기준국과 이용자사이의 거리가 멀어질 수록 커진다. 위치측정오차는 PDOP와 거리측정오차에 비례한다.

$$e_x = \text{PDOP} * e_r \quad (2-10)$$

여기서 e_x , e_r 은 각각 위치측정오차와 거리측정오차이다. PDOP는 이용자위치에서의 위성들의 기하학적인 배치에 따라 변하며 PDOP가 커지면 위치측정의 정확도는 나빠진다.

3. 일반 GPS 모듈과 모뎀을 이용한 DGPS 시스템의 구성

일반 GPS모듈과 모뎀을 이용하여 DGPS 시스템을 구성하였다. 그림 3은 기준국과 이용자의 DGPS 시스템 구성도이다. 기준국 및 이용자의 GPS 수신기는 Trimble 사의 GPS 모듈¹¹⁾을 이용하였다. 실제 모듈에서 이용한 측지좌표계는 WGS-84 좌표계로 우리나라에서 사용되는 Bessel 좌표계로의 변환은 간단한

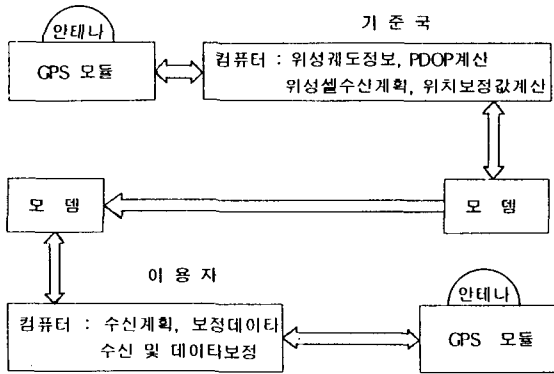


그림 3. 기준국과 이용자의 DGPS시스템 구성도

좌표변환 프로그램¹²⁾으로 구하거나 모듈 자체의 프로그램 수정으로 직접 구할 수 있다. 본 연구에서는 WGS-84 좌표계를 기준 좌표계로 이용하였다. 기준국에서는 GPS모듈로부터 위성들의 궤도정보를 취득하고 4개의 위성을 1셀으로 하는 여러 위성셀들을 수신하고 PDOP에 따른 여러 위성셀의 수신계획과 각 위성셀에 대한 위치보정데이터를 이용자에게 제공한다. 이용자는 관측가능한 임의 위성셀으로 위치 측정하여 기준국의 보정데이터로 위치측정값을 보정한다.

보정정보의 송수신은 기존의 데이터 통신망을 이용하고 이용자는 기준국의 위치측정 보정값 Δx , Δy , Δz 그리고 보정시각 등을 모뎀을 통하여 수신하여 위치측정값을 보정한다. 본 연구에서는 위치를 알고 있는 두 기준국에 2대의 수신기를 설치하고 DGPS-A 방법을 이용하여 위치측정실험을 하였다. 두 기준국은 당연구원 천문대의 GPS 측지 기준점을 기준으로 측량용 GPS 수신기를 이용하여 고정밀 정확하게 측정되었다.

4. DGPS 시스템을 이용한 위치측정실험

그림 4는 PDOP가 2.57~2.71인 위성셀을 선택하여 모듈 자체 기능만을 이용하여 30분간 매초 위치측정한 결과로 위성에서 전송된 궤도정보(ephemeris) 및 위성시계의 오차 때문에 시간에 따라 약 100 미터까지 위치측정값이 변화된다. 그림 5는 위성셀의 PDOP가 2.57에서 2.71로 변할 때 DGPS 시스템을 이용하여 30분간 매초 위치측정한 결과로 측정값의 오차를 좌

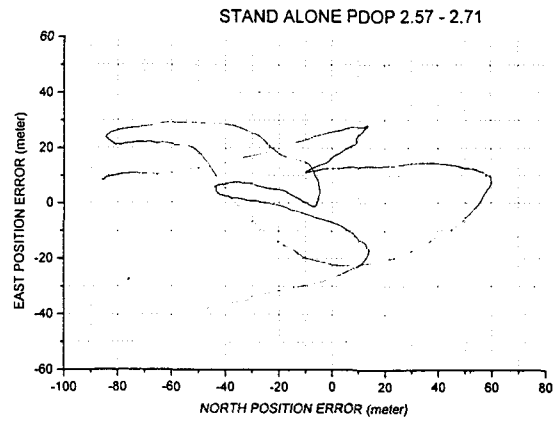


그림 4. GPS 모듈을 이용한 30분간의 위치측정결과 (PDOP:2.57-2.71)

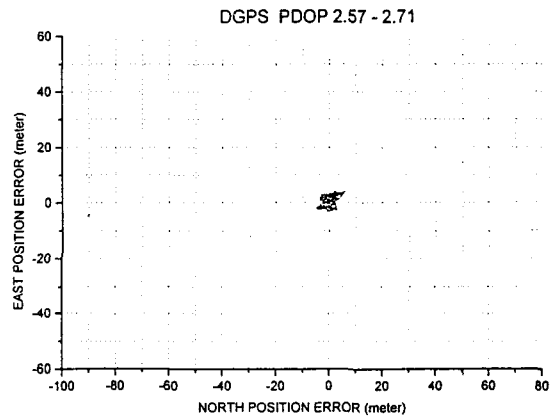


그림 5. DGPS 방법을 이용한 30분간의 위치측정결과 (PDOP:2.57-2.71)

표측 X, Y, Z의 오차로 구분하여 나타내면 측정 데이터의 대부분이 5 미터 이내로 정확한 위치측정이 가능함을 알 수 있다(그림 6). 그림 7과 8은 PDOP가 4.87에서 5.18로 변하는 위성셀과 PDOP가 7.96에서 8.88로 변하는 위성셀을 선택하여 각각 30분간 수신하고 DGPS-A 방법을 이용해 보정한 위치측정결과이다. 그림 5, 7, 8에서 볼 수 있듯이 수신하는 위성셀의 PDOP가 증가함에 따라 위치측정의 정확도가 나빠진다. 위성셀의 PDOP가 6 이하일 때 약 수 미터 이내의 정확도로 위치측정이 가능하고 PDOP가 6보다 커짐에 따라 위치측정의 정확도, 정밀도는 급격히 나빠진다. 따라서 PDOP에 의한 위치측정 정확도의 영향을 최소화하기 위해서 DGPS 방법을 이용한 위치측정 데이터를 30분씩 산술평균하였다. 그림 9와

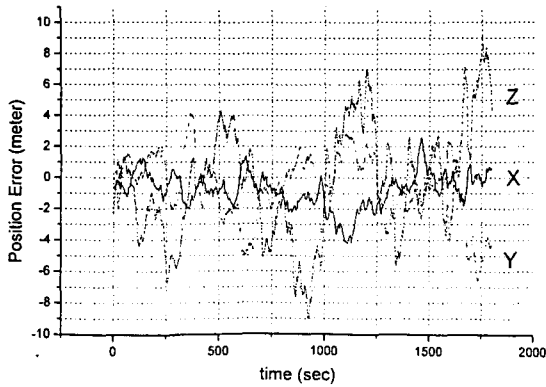


그림 6. DGPS 방법을 이용한 30분간의 X, Y, Z 오차

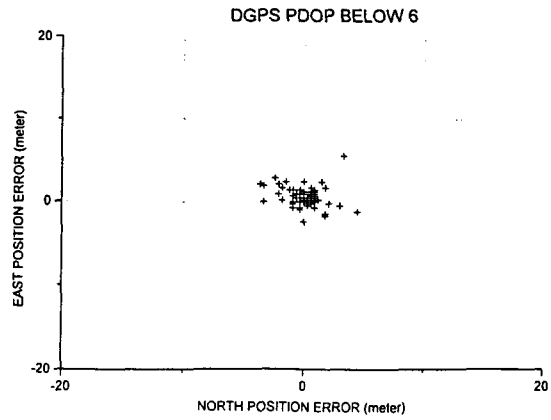


그림 9. PDOP가 6 이하인 경우 위치측정값의 30분 평균값 데이터

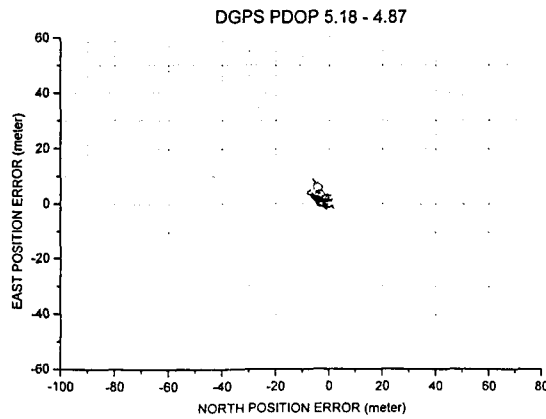


그림 7. PDOP가 4.87-5.18일 때 DGPS 방법을 이용한 30분간의 위치측정결과

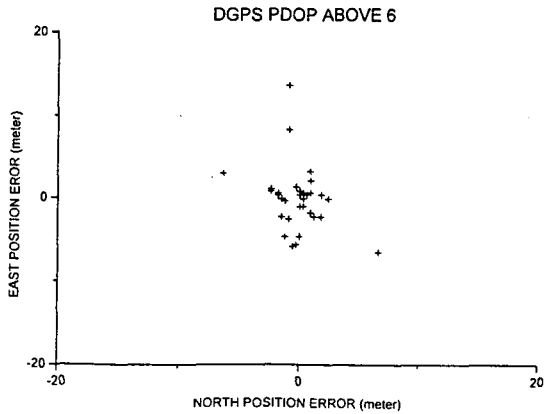


그림 10. PDOP가 6-10인 경우 위치측정값의 30분 평균값 데이터

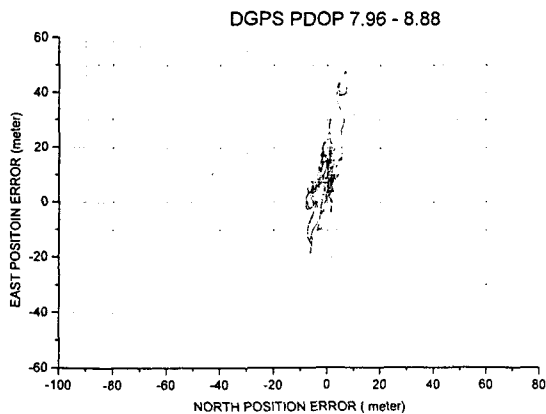


그림 8. PDOP가 7.96-8.88일 때 DGPS 방법을 이용한 30분간의 위치측정결과

10은 각각 PDOP가 6 이하인 경우와 6~10인 경우의 위치측정 데이터를 30분간씩 평균한 데이터로 전체

적으로 PDOP가 10 이하인 경우 약 10 미터 이내의 정확도로 위치측정이 가능하였다. 그림 11은 실제 위치로부터의 3차원적인 거리오차를 표시한 것으로 A는 GPS 모듈자체의 필터기능을 이용하지 않은 경우이고 B는 필터기능을 이용한 경우 그리고 C는 DGPS 방법을 이용한 경우의 위치측정오차이다. A의 경우 위치측정오차가 시간에 따라 100 미터 이상의 오차가 발생되고 B의 경우는 정확한 측정값을 얻으려면 2~3 시간이 소요된다. 그러나 DGPS 방법을 이용한 C의 경우는 거의 실시간으로 10 미터 이하의 정확한 위치측정이 가능함을 알 수 있다. 따라서 DGPS 기술을 이용한 위치측정이 GPS 수신기만을 이용한 위치측정에 비해 좋은 정밀정확도를 갖고 있음을 알 수 있다. 한국표준과학연구원에 기준수신기를 설치하고 국민

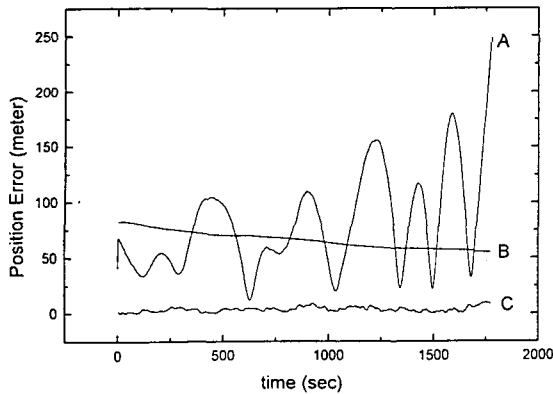


그림 11. A: GPS모듈을 이용한 위치측정값의 오차, B: GPS모듈자체의 필터기법을 거친 측정값의 오차, C: DGPS 방법에 의한 위치측정값의 오차

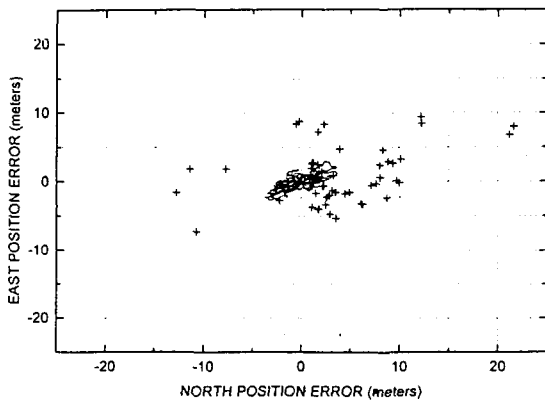


그림 12. 국민대학교에서 DGPS 방법을 이용하여 30분간 위치측정한 결과(실선)와 모듈자체의 필터기능을 이용한 15일간의 위치측정결과(+)

대학교에 이용자수신기를 설치하여 DGPS 위치측정 실험을 하였다. 그림 12에서 실선은 국민대에서 30분간 1초마다 위치측정한 결과를 한국표준과학연구원 기준수신기의 보정데이터를 이용하여 보정한 DGPS 위치측정결과이고 “+”는 모듈자체의 디지털 지역통과 필터기능을 이용한 15일 동안의 위치측정결과로 매 측정때마다 모듈을 reset 하고 위치측정값이 안정된 후(2~3시간) 측정된 값들이다. 두 곳의 거리는 약 140 km 정도 떨어져 있다. 위치측정값들은 모듈 자체로 측정된 경우는 약 20 미터 정도, DGPS 방법을 이용한 위치측정의 경우 약 5 미터 이내의 반경안에서 변동하고 있다. 따라서 DGPS 기술을 적용한 측정결

과가 GPS 모듈 자체만을 이용한 결과보다 거의 실시간으로 고정밀도의 위치측정이 가능함을 알 수 있다. 따라서 DGPS 기술을 이용하여 국내에 위치보정 데이터를 제공한다면 전국 어디서나 거의 실시간으로 정확한 위치측정이 가능할 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 저가의 GPS 모듈과 모뎀을 이용한 DGPS 시스템을 구성하였고, 이를 이용하여 거의 실시간으로 고정밀도의 위치측정결과를 얻었다. 또한 주위 장애물등의 영향으로 PDOP가 6~10 정도의 위성셀을 선택한 경우에도 산술평균 등의 알고리즘을 통해서 약 10 미터 정도의 고정밀도의 위치측정이 가능하였다. 일반적으로 건물이 많은 도시나 산악지형이 험난한 지역과 같이 PDOP가 큰 경우에도 DGPS 기술 및 필터기법을 적용하면 위치측정의 정확도를 크게 개선할 수 있다. 또한 백만원 정도의 저가의 GPS 수신기모듈로 실시간으로 고정밀도의 위치측정 및 항법이 가능하므로 이를 토대로 국내에 DGPS 서비스를 제공한다면 전국 어디서나 10 미터 이내의 정확도로 위치측정이 가능해질 것이다.

参考文献

1. R.J. Milliken, C.J. Zoller, "Principle of operation of NAVSTAR and system characteristics," Journal of navigation, vol. 25, no. 2, pp. 96-106, 1978.
2. 이창복, 이동두, 정낙삼, 장익수, "GPS 위치측정 장치의 개발 및 시험결과," 대한전자공학회 논문지 vol. 28(A), no. 6, pp. 12-18, 1991.
3. G.T. Kremer, R.M. Kalafus, P.V.W. Loomis, and J.C. Reynolds, "The effect of selective availability on differential GPS corrections," Journal of navigation, vol. 37, no. 1, 1990.
4. 이창복, 이동두, 정낙삼, 장익수, "GPS 위성을 이용한 전리층 측정에 관한 연구," 대한전자공학회 논문지 vol. 29(A), no. 12, pp. 1-7, 1992.
5. J. Beser and B.W. Parkinson, "The application of NAVSTAR differential GPS in the civilian community," Journal of navigation, vol. 29, no. 2, 1982.
6. P.T. Stewart, W.M. Hoover, and C.R. Johnson, "Differential GPS navigation," IEEE position location and navigation symp., pp. 9-16, 1980.
7. C. Kee, B.W. Parkinson and P. Axelrad, "Wide area

- differential GPS,” *Journal of navigation*, vol. 37, no. 1, 1990.
8. GPS world newsletter. September 13, 1994.
 9. 박필호, 한인우, 김천휘, 강준목, GPS 측지기준점 설정에 관한 연구, *한국측지학회지*, vol. 9, no. 1, pp. 37-45, 1991.
 10. Rudolph M. Kalafus, Al J. Van Dierendonck, Nevin A, Pealer, “Special committee 104 recommendations for differential GPS service”, *journal of navigation* vol. 33, no. 1, Spring 1986.
 11. SVeeSix 6-channel GPS sensor specification and user’s manual, Trimble navigation limited, November 1992.
 12. 이창복, 동저, “인공위성을 이용한 시각 비교 기술 연구(1차년도)”, KSRI-86-33-IR, pp. 99-103, 1986.