

# DGNSS 위치정확도 향상을 위한 PRC 보정정보 모델링에 관한 연구 A Study on Pseudo-Range Correction Modeling in order to Improve DGNSS Accuracy

손동효\* · 박관동\*\*

Sohn, Dong Hyo · Park, Kwan Dong

## 요 旨

본 논문은 DGNSS(Differential GNSS) 위치정확도 향상을 위한 PRC(Pseudo-Range Correction) 보정정보 모델링에 관한 연구내용이다. PRC는 DGNSS 기법을 이용하여 측위정확도를 향상시키기 위해 사용되는 보정정보로써 사용자가 통신망을 통해 수신한 뒤 사용된다. 그러나 일시적인 통신두절이나 신호간섭 등으로 인해 위치정확도가 급격히 저하되는 일이 발생한다. 그래서 본 논문에서는 이러한 현상을 방지하기 위해 PRC 보정정보를 다항식 곡선접합 방정식을 이용하여 모델링하고 그 정확도를 평가하였다. 모델링 매개변수를 이용하여 계산한 PRC 추정값과 실제 기준국 수신기에서 생산되는 관측값간의 차이를 계산한 결과 GPS의 경우에는 평균 0.1m, RMSE는 1.3m로 나타났고 대부분의 위성들이  $\pm 1.0m$  이내의 편향오차와 3.0m 이내의 RMSE를 보였다. GLONASS의 경우에는 평균 0.2m이고 대부분  $\pm 2.0m$  이내에 분포하였다. RMSE는 2.6m로 나타났고 다수의 위성들이 3.0m 이내에 분포하였다. 이런 결과는 모델링을 통해 산출한 추정값이 사용자의 위치정확도를 유지하는데 유효하게 사용될 수 있음을 보였다. 그러나 고도각이 낮은 영역에서 두 값의 차이가 크게 나타나 이에 대한 연구를 추가적으로 수행할 필요성이 있다.

핵심용어 : DGNSS, GPS, GLONASS, 의사거리 보정정보

## Abstract

We studied on pseudo-range correction(PRC) modeling in order to improve differential GNSS(DGNSS) accuracy. The PRC is the range correction information that provides improved location accuracy using DGNSS technique. The digital correction signal is typically broadcast over ground-based transmitters. Sometimes the degradation of the positioning accuracy caused by the loss of PRC signals, radio interference, etc. To prevent the degradation, in this paper, we have designed a PRC model through polynomial curve fitting and evaluated this model. We compared two quantities, estimations of PRC using model parameters and observations from the reference station. In the case of GPS, the average is 0.1m and RMSE is 1.3m. Most of GPS satellites have a bias error of less than  $\pm 1.0m$  and a RMSE within 3.0m. In the case of GLONASS, the average and the RMSE are 0.2m and 2.6m, respectively. Most of satellites have less than  $\pm 2.0m$  for a bias error and less than 3.0m for RMSE. These results show that the estimated value calculated by the model can be used effectively to maintain the accuracy of the user's location. However, it is needed for further work relating to the big difference between the two values at low elevation.

Keywords : DGNSS, GPS, GLONASS, Pseudo Range Correction

## 1. 서 론

GNSS(Global Navigation Satellite System) 사용자들은 정확한 위치값을 산출하기 위해 사용목적에 맞는 다양한 기법들을 이용한다. 그 중에서 의사거리 보정정보 PRC(Pseudo-Range Correction)를 이용한 DGNSS

(Differential GNSS) 측위 기법은 사용자의 위치를 빠르고 정확하게 향상시킬 수 있어 측량, 교통, 항공분야 뿐만 아니라 시설물관리, 모지관리 등의 일상생활분야와 위성궤도결정과 같은 우주분야에도 사용되고 있다(Cho et al, 2008; Roh et al, 2009; Kim, 2010).

DGNSS는 정확한 위치를 미리 알고 있는 기준점에

Received: 2015.10.28, accepted: 2015.12.04

\* 교신저자 · 정회원 · ㈜지평스페이스(Corresponding author, Member, Jipyong Space Inc., dhsohn5@gmail.com)

\*\* 정회원 · ㈜지평스페이스(Member, Jipyong Space Inc., kdpark@jpspace.kr)

서 측위오차를 계산하고 동일 위성을 관측하는 사용자들에게 실시간으로 오차정보를 제공하여 측위결과를 보정함으로써 정확도를 개선하는 방식이다. 이 방식은 기준점과 사용자간의 거리가 수십 km 이내의 범위내에서는 오차요인이 동일하다고 가정한다. 이를 기반으로 기준점에서 생성된 오차 보정정보가 NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), DMB(Digital Multimedia Broadcasting), 비콘(Beacon) 등과 같은 통신 서비스를 통해 사용자들에게 지속적으로 전파됨으로써 향상된 위치정확도가 유지된다. 위치정확도는 사용자의 관측장비 성능, 기준점과 사용자간의 기선거리, 보정정보 전송률 등에 따라 서버미터에서 수 미터의 차이를 보인다(Ahmed, 2006).

그러나 사용자가 위치한 주변 환경에 따라 통신이 잘 이루어지지 않거나 일시적으로 통신두절, 신호간섭 현상이 나타나는 경우에는 PRC 보정정보를 미수신하여 위치정확도를 크게 저하시키는 일이 발생한다. Kaplan(1996)에 의하면 보정정보를 사용하면 3m 수준의 위치정확도가 나타나지만 사용하지 않을 때에는 30m 이상 오차가 발생하였다. 그리고 Kim et al.(2011)은 의사거리 보정정보를 사용함으로써 수평오차가 3.8m에서 1.4m로, 수직오차는 5.8m에서 1.7m로 향상됨을 보였다. 이와 같이 위치정확도는 의사거리 보정정보의 사용 유무에 따라 크게 달라진다.

본 논문에서는 PRC 정보를 수신할 수 없는 통신 음영지역에서도 자체적으로 보정정보를 생성하고 위치정확도를 유지할 수 있게 PRC 정보 모델링에 대해 연구한 내용을 기술하였다. 연구의 주 내용은 대상 날짜 이전의 수 일간 관측된 GPS와 GLONASS 위성들에 대해 각각의 궤적 반복주기를 계산하고 이를 반영하여 수 일간의 PRC 보정정보를 취합한다. 취합된 자료를 기반으로 다차항 곡선적합 방정식을 이용하여 모델링한 뒤 위성별로 매개변수를 생성한다. 생성된 매개변수를 사용하여 대상 날짜에 관측되는 위성들의 PRC 보정정보를 매 초마다 계산하고 실제 기준점 수신기에서 생성되는 PRC 값과 상호 비교 분석한다.

## 2. GNSS 위성궤적 반복주기

GPS, GLONASS 등의 위성항법시스템 위성들은 주 기성을 가지고 지구 주위를 공전하고 있다. 그러나 지구의 자전효과로 인해 지상에 그려지는 궤적은 조금씩 달라진다. 그래서 지상관측소에서 관측되는 위성들의 동일궤적 반복주기를 계산할 필요가 있다. 본 연구에서는 대상 날짜 이전의 수 일 동안 관측된 위성궤도력 정

보를 기반으로 시간에 따른 상관관계를 궤도성분별로 계산함으로써 반복주기 값을 계산한다. 이때 위성이 2회 이상 공전하며 동일궤적을 그리는데 걸리는 시간을 repeat time이라 정의한다(Choi et al., 2004; Agnew and Larson, 2007).

### 2.1 GPS

일반적으로 GPS 위성의 공전주기는 약 11시간 58분으로 하루에 두 바퀴씩 지구 주위를 선회한다. 이런 궤도주기로 인해 GPS 위성들은 며칠이 지나도 동일시각에 관측되는 위성들의 위치가 유사하게 나타난다. 그러나 위성마다 동일 궤적을 그리며 나타나는 시간은 조금씩 차이 난다.

위성별 동일궤적 반복 주기값은 IGS(International GNSS Service)에서 제공하는 초신속궤도력 정보파일인 SP3를 이용하여 산출하였다(IGS, 2015). GPS 궤도력 정보파일에는 모든 위성 위치에 대해 지구중심 좌표계로 표현된 X, Y, Z 성분값을 15분 간격으로 기록되어 있다. 본 연구에서 사용한 위성별 repeat time은 대상날짜 이전의 3일간 궤도력 파일을 이용하여 시간흐름에 따른 성분별 상관관계를 계산하고 하루 단위로 평균하여 산출하였다. 계산 방정식과 처리과정은 지면 관계상 참고문헌으로 대체한다(Lee et al., 2009).

상관관계를 이용하여 동일궤적이 나타나는 시간을 계산한 결과, 24시간을 기준으로 위성들의 관측궤적 시간은 하루 전날의 동일 위성에 비해 평균 241초 빨라졌다. 이 값은 Agnew and Larson(2007)과 Lee et al.(2009)이 산출한 repeat time과 유사한 결과였다. 동일한 방법으로 이틀 전의 동일궤적 시간과 차이를 계산하면 평균 481초로 나타났다. 이를 통해 24시간 기준으로 지상에서 관측되는 GPS 위성들의 동일궤적 반복주기는 하루 전날에 비해 약 240초씩 빨라지고 있음을 알 수 있다.

### 2.2 GLONASS

GLONASS는 경도 120도 간격으로 3개의 궤도평면에 8개씩 위성들이 배치되어 있다. 궤도경사각이 64.8도이기 때문에 GPS보다 더 극지방쪽으로 지상궤적이 그려진다. 궤도반경은 GPS보다 작은 약 25,510km이고 공전주기도 짧은 약 11시간 16분이다. 그래서 임의의 한 위성이 같은 궤적을 그리며 동일 위치에 나타나기 위해서는 8일의 시간이 소요되고 이 기간 동안 위성은 지구를 17회 공전한다(Kleusberg, 1990).

Fig. 1은 정밀궤도력 SP3 파일을 이용하여 9일 동안 기록된 GLONASS 24번 위성의 X 성분을 나타낸 것이

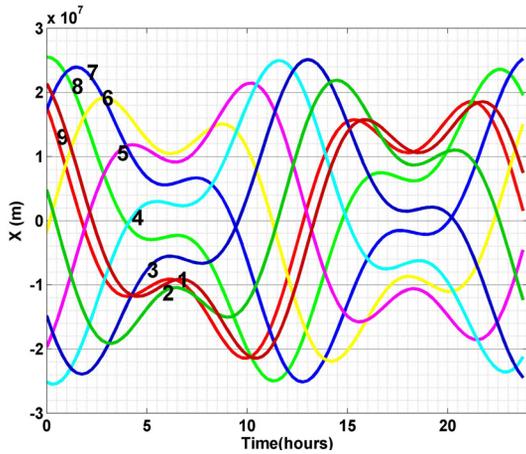


Figure 1. GLONASS PRN24 trajectories for nine days

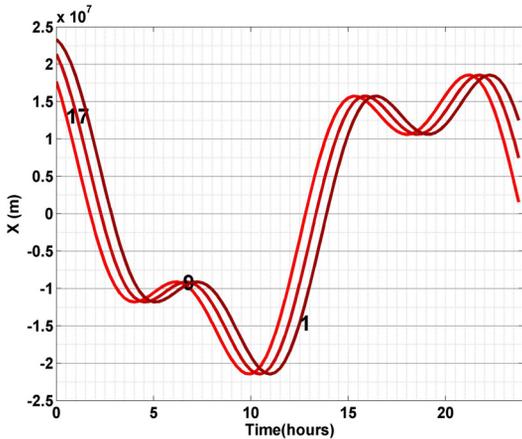


Figure 2. GLONASS PRN24 X-coordinate at 8-day intervals

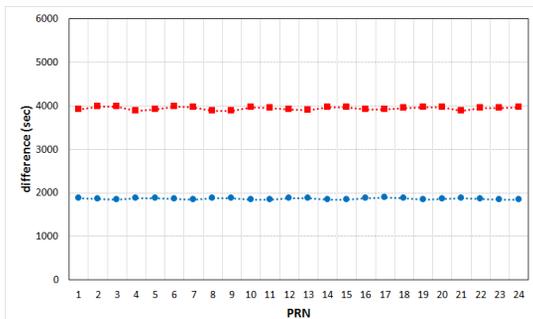


Figure 3. Repeat time at 8-day intervals for GLONASS PRN24

고 그림상의 숫자는 날짜 서수를 의미한다. 위성궤적은 매일 다르게 그리며 진행하다가 8일후에 유사하게 나

타고 있음을 보여준다. 이에 동일궤적을 그리는 8일 간격의 3일치 자료를 Fig. 2에 다시 표시하였다. 8일마다 관측되는 동일궤적 시간이 약 30분씩 빨라지고 있음을 확인할 수 있다.

대상일의 SP3 파일을 기준으로 8일전, 16일전과의 성분별 상관관계를 통해 repeat time을 계산하였다. Fig. 3은 대상일의 24시간 GLONASS 위성궤적을 기준으로 8일전, 16일전과의 동일 궤적시간차이를 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 위성번호, 세로축은 동일궤적 시간차이로써 원형심볼(●)은 대상일과 8일전, 사각형(■)은 대상일과 16일전을 각각 표시한다. 대상일과 8일전의 동일궤적 시간차이는 평균 1862초로 나타났고 대상일과 16일전의 시간차이는 평균 3936초로 나타났다. 결과적으로 GLONASS 위성의 동일궤적 반복주기는 8일 간격으로 나타났고 24시간 기준으로 약 1900초씩 빨라지고 있음을 확인하였다.

### 3. PRC 모델링

#### 3.1 연구범위

본 연구에 사용된 PRC 보정정보는 인하대학교 창업 보육센터 옥상(37°26′55.0″N, 126°39′21.3″E, H:63.9m)에 설치된 자바드 알파(JAVAD ALPHA) 수신기에서 생성된 자료이다. 대상 날짜는 2015년 6월 21일로 선정하였고 GPS의 경우에는 대상일 이전의 3일간 자료, GLONASS는 8일전과 16일전의 자료를 각각 이용하였다.

#### 3.2 PRC 모델링

앞서 계산한 repeat time을 연구범위 PRC 정보에 위성별로 각각 적용하여 취합한다. Fig. 4와 Fig. 5는 각각 GPS와 GLONASS의 1번 위성에 대한 repeat time 적용전후를 나타낸 것이다. 적용 전에는 PRC 값의 분포형태가 유사하지만 시간차이가 나타난 반면 적용 후에는 시간차이 없이 형태가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

시간차이를 적용한 PRC 보정값은 다항식 곡선적합 방정식을 이용하여 모델링하였다. 위성마다 관측되는 시간이 다르기 때문에 24시간 기준으로 보정값이 나타나는 시간을 구간으로 나누고 구간별로 모델링하였다. 4차부터 10차까지 다양한 곡선적합 차수를 적용한 뒤에 차수별 자료처리 시간과 RMSE(Root mean square error)를 각각 계산하였다. 이때 RMSE는 0에 가까울수록 관측값과 추정값의 오차가 작다는 것을 의미한다.

자료처리 시간은 차수가 증가할수록 조금씩 증가하지만 큰 차이를 보이지 않았고 최적의 차수를 찾기 위

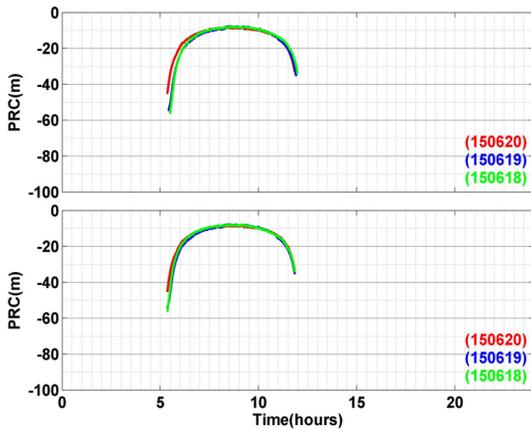


Figure 4. GPS #1 PRC before(top) and after(bottom) applying repeat time

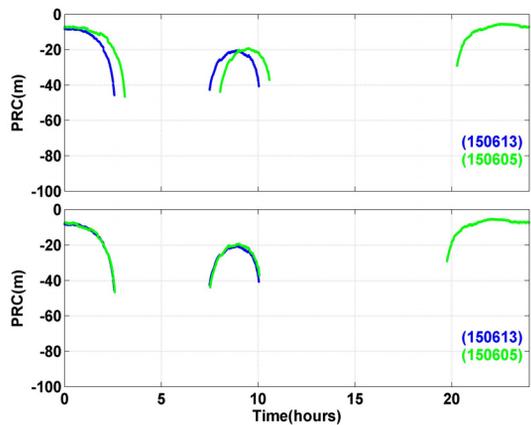


Figure 5. GLONASS #1 PRC before(top) and after(bottom) applying repeat time

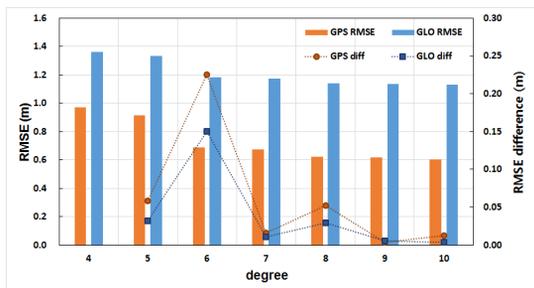


Figure 6. RMSE of GPS/GLONASS polynomial curve fitting

한 경계도 불명확하였다. 이에 반해 RMSE는 모델링에 적합한 차수를 찾을 수 있는 경계가 명확히 나타났다.

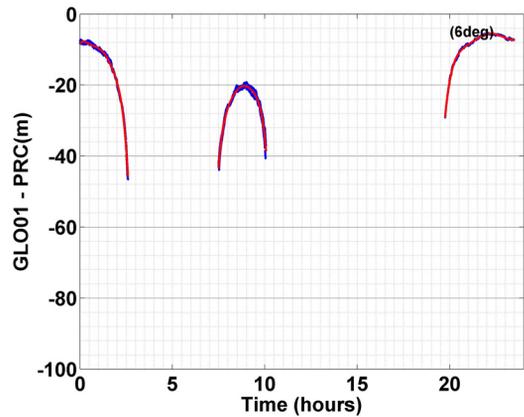


Figure 7. PRC modeling of sixth degree polynomial for GLONASS #1

Fig. 6은 GPS와 GLONASS의 모든 위성에 대한 다항식 곡선적합 적용후 RMSE 평균값을 차수별로 나타낸 것이다. 그림에서 세로 막대그래프는 RMSE 평균을 표시하고 꺾은선그래프는 이전차수와 현재차수의 RMSE 차이를 나타낸다. GPS와 GLONASS의 RMSE값은 6차를 적용하였을 때 다른 차수에 비해 상대적으로 많이 줄어들었다. 그리고 다른 차수와의 경계도 명확히 나타났다. 이런 결과를 기반으로 본 논문에서는 6차 다항식 곡선적합 방정식을 이용하여 PRC 보정정보에 대해 모델링하고 위성별로 매개변수를 산출하였다.

Kim et al.(2011)은 GPS PRC 구간이 2개 이상 나타날 경우 구간별로 차수를 달리 적용하여 모델링한 바 있다. 그러나 본 연구에서 수행한 바에 의하면 구간에 따라 PRC 관측값의 최적차수가 조금씩 다르지만 모든 구간에 대해 6차를 적용한 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 향후 무선통신을 통해 매개변수를 전송할 경우 데이터전송량을 고려하면 6차 다항식을 이용하는 것이 가장 적합하다고 판단하였다. Fig. 7은 GLONASS 1번 위성에 대해 대상일 이전의 동일궤적 반복일 PRC 관측값(파란점)과 6차 모델링 매개변수를 이용하여 계산한 결과(붉은점)를 일례로 나타낸 것이다.

### 3.3 모델링 정확도 분석

6차 곡선적합 다항식을 적용하여 GPS와 GLONASS의 모든 위성에 대해 모델링 매개변수를 산출하였다. 산출된 매개변수는 식 (1)에 적용하고 대상 날짜의 PRC 값을 추정하여 실제 관측값과 비교 분석하는데 이용된다.

$$PRC(t) = p_1t^6 + p_2t^5 + p_3t^4 + p_4t^3 + p_5t^2 + p_6t + p_7 \quad (1)$$

여기서,  $t$ 는 임의의 관측시각이고,  $p_1, \dots, p_7$ 은 모델링 매개변수이다.

대상일 하루 동안 모델링을 통해 산출한 추정값은 위성들의 실제 관측값과 상호 비교 분석하였다. Fig. 8은 하루 동안 두 값의 차이에 대한 평균을 위성별로 나타낸 것이고 Fig. 9는 위성별 RMSE를 그린 것이다. 그림에서 가로축은 위성번호, 세로축은 평균과 RMSE를 각각 나타내고 원형(●)은 GPS, 삼각형(▲)은 GLONASS를 각각 표시한다.

GPS(●) 위성들에 대해 두 값의 차이를 분석한 결과는 평균 0.1m, RMSE 1.3m로 나타났고 대부분의 위성들이  $\pm 1.0m$  이내의 편향오차와 3.0m 이내의 RMSE를 보였다. GLONASS(▲)의 경우에는 관측값과 추정값의 차이에 대한 평균이 0.2m였고 대부분 위성들이  $\pm 2.0m$  이내에 분포하여 GPS 결과에 비해 상대적으로 큰 차이를 보였다. 모든 위성들에 대한 RMSE는 평균 2.6m로 나타났고 3.0m 이상 발생하는 위성들도 보였다. 이와 같이 GLONASS의 오차가 GPS에 비해 더 큰 차이를

보이는 이유는 상대적으로 긴 동일궤적 반복주기인 8일의 시간 차이로 인해 전리권, 대류권 등의 오차 보정값이 상대적으로 크게 달라졌기 때문이라 판단된다.

본 연구의 결과는 모델링을 통해 산출한 PRC 추정값이 사용자의 위치정확도를 유지하는데 유효하게 사용될 수 있음을 보이고 있다. 이는 Kim et al.(2011)의 연구결과를 통해 확인할 수 있다. 그에 의하면 GPS PRC 보정값의 오차가 3.0m 차이나면 0.7m의 수평 측위오차가 발생하였다.

그러나 상대적인 차이는 있지만 대부분의 위성들이 고도각 낮은 영역에서 PRC 관측값과 모델 추정값이 큰 차이를 보였다. 이는 저고도각에서 위성신호의 대기 투과길이가 짧은 시간에 급격히 변하는 현상을 모델이 제대로 반영하지 못한 것이라 생각된다. 이런 한계점을 해결하기 위해 향후 낮은 고도각 관측값에 대해 가중치를 낮게 설정하여 저고도각 효과를 대처하거나 GNSS 위성들의 위치와 시간을 함께 고려한 PRC 모델링 연구가 필요하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 사용자가 PRC 보정정보 미수신환경에서도 DGNSS 위치정확도를 유지할 수 있게 보정정보를 모델링하고 이에 대한 정확도를 평가하였다. 모델링은 과거의 PRC 정보와 위성궤적 반복주기를 기반으로 이루어졌고 산출된 모델링 매개변수는 보정값을 추정하는데 이용되었다.

대상일 하루 동안 추정한 값과 실제 관측값을 상호 비교한 결과 GPS의 경우에는 평균 0.1m, RMSE 1.3m로 나타났고 대부분의 위성들이  $\pm 1.0m$  이내의 편향오차와 3.0m 이내의 RMSE를 보였다. GLONASS의 경우에는 평균 0.2m, RMSE 2.6m로 나타나 GPS 보다 상대적으로 큰 차이를 보였고 대부분 위성들이  $\pm 2.0m$  이내의 편향오차와 3.0m 이내의 RMSE를 보였다.

본 연구의 결과는 모델링 매개변수를 통해 산출한 PRC 추정값이 사용자의 위치정확도를 유지하는데 유효하게 사용될 수 있음을 보였다. 이러한 매개변수가 1일 1회 제공될 경우 사용자들은 PRC 미수신 지역에서도 관측시점에 보이는 위성들의 PRC 보정정보를 자체적으로 생성할 수 있다. 그리고 추정된 보정값은 관측 데이터와 조합하여 향상된 위치정확도를 유지할 수 있을 것이다. 그러나 위성의 고도각이 낮은 영역에서 두 값의 차이가 상대적으로 크게 나타나는 한계점이 있어 향후 PRC 모델의 정확도를 높이기 위해서는 사-공간적 분석에 대한 연구를 추가적으로 수행할 필요성이 있다.

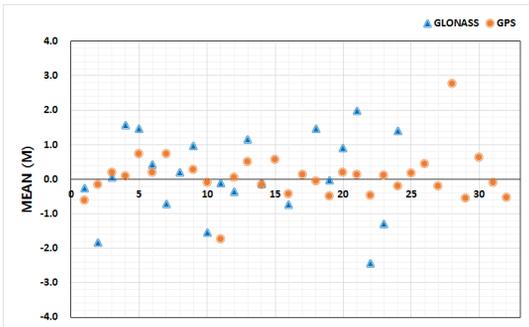


Figure 8. Mean of PRC differences

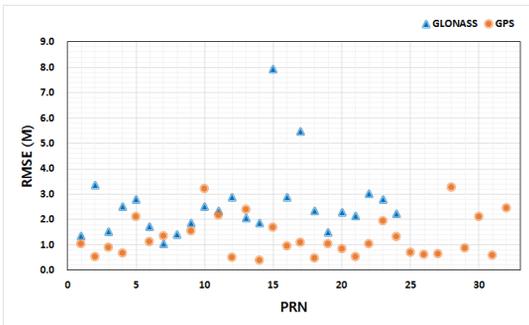


Figure 9. RMSE of PRC differences

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 소관 국토교통기술사업화 지원사업 “골목길 내비게이션을 위한 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말 개발” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Agnew, D. C. and Larson, K. M., 2007, Finding the repeat times of the GPS constellation, *GPS Solutions*, Vol. 11, No. 1, pp. 74-76.
2. Ahmed, E. R., 2006, *Introduction to GPS: The global positioning system*, Artech House, Boston, pp. 77-79.
3. Cho, H. S., Sohn, H. G., Lim, S. B., Kim, S. S. and Kim, S. M., 2008, Construction of cemetery management system using mobile DGPS, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 16, No. 4, pp. 49-57.
4. Choi, K., Bilich, A., Larson, K. M. and Axelrad, P., 2004, Modified sidereal filtering: Implications for high-rate GPS positioning, *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, No. 22, L22608.
5. IGS, 2015, IGS products GPS satellite ephemerides, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/>
6. Kaplan, E. D., 1996, *Understanding GPS principles and applications*, Boston, pp. 323-344.
7. Kim, I. S., 2010, Availability evaluation of network DGPS positioning for various facilities management in dense housing area, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 18, No. 4, pp. 93-99.
8. Kim, K. T., Kim, H. I. and Park, K. D., 2011, Development of removal techniques for PRC outlier & noise to improve NDGPS accuracy, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 19, No. 2, pp. 63-73.
9. Kleusberg, A., 1990, Comparing GPS and GLONASS, *GPS world*, Vol. 1, No. 6, pp. 52-54.
10. Lee, C. M., Park, K. D., Kim, H. I. and Park, J. M., 2009, GPS satellite repeat time determination and orbit prediction based on ultra-rapid orbits, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 4, pp. 411-420.
11. Roh, K. M., Luehr, H., Park, S. Y. and Cho, J. H., 2009, The effect of equatorial spread F on relative orbit determination of GRACE using differenced GPS observations, *Journal of astronomy and space sciences*, Vol. 26, No. 4, pp. 499-510.