

골목길 내비게이션을 위한 저가 모듈 기반의 지능형 GNSS 측위 기술 개발

Development of Intelligent GNSS Positioning Technique Based on Low Cost Module for an Alley Navigation

김혜인* · 박관동**

Kim, Hye In · Park, Kwan Dong

요 旨

도심환경이나 좁은 골목길의 경우 건물 등의 장애물에 의해 GNSS 신호가 차폐되어 충분한 개수의 가시위성 확보가 어려운 난수신환경이기 때문에 측위가 불가능하거나 측위정확도가 저하되는 문제가 발생한다. 이 연구에서는 골목길 환경에서의 위치정확도 향상 기술을 개발하고 그 성능을 검증하였다. 먼저 관측자료를 선별하고 이상점을 제거하는 알고리즘을 적용하였으며, GPS/GLONASS 복합측위를 구현하였다. 또한 위성신호의 신호강도를 나타내는 SNR을 기반으로 다중경로 신호의 영향을 최소화하는 다중경로오차 저감 기술을 적용하였다. 개발 기술의 성능 검증을 위하여 인하대학교 후문에 위치한 도로폭 10m 이내의 좁은 골목길을 테스트베드로 선정하였으며, 테스트베드 내의 4개 측점들을 대상으로 정지측위 및 이동측위를 실시하고 측위 정확도를 분석하였다. 그 결과 정지측위의 경우 개활지에서는 저가 장비인 u-blox를 사용하는 경우보다 3차원 RMSE가 평균 45% 향상되는 것을 확인하였으며, 골목길에서는 3차원 정확도가 평균 37% 향상되었다. 특히 이동측위의 경우 개발 기술을 통해 편이 없이 안정적으로 위치결정이 가능함을 확인하였다.

핵심어 : GNSS, 내비게이션, 난수신환경, 좁은 골목길, 다중경로

Abstract

Since GNSS signals get blocked by buildings in urban canyons or narrow alleys, it is very difficult to secure a enough number of visible satellites for satellite navigation in those poor signal-reception environments. In those situations, one cannot get their coordinates or obtain accurate positions. In this study, a couple of strategies for improving positioning accuracy in urban canyons were developed and their performance was verified. First of all, we combined GPS and GLONASS measurements together and devised algorithms to quality-control observed signals and eliminate outliers. Also, a new multipath reduction scheme was applied to minimize its effect by utilizing SNR values of the observed signals. For performance verification of the developed technique, a narrow alley of 10m width located near the back gate of the Inha University was selected as the test-bed, and then we conducted static and kinematic positioning at four pre-surveyed points. We found that our new algorithms produced an 45% improvement in an open-sky environment compared with the positioning result of a low-cost u-blox receiver. In the alleys, 3-D accuracy improved by an average of 37%. In the case of kinematic positioning, especially, biases showing up in regular receivers got eliminated significantly through our new filtering algorithms.

Keywords : GNSS, Navigation, Urban Canyon, Narrow Alley, Multipath

1. 서 론

C-ITS(cooperative-intelligent transport systems), 교통·항법 서비스, 물류·관제 서비스, 도시시설물 관리, 국

가공간정보 등의 다양한 분야에서 GPS(global positioning system)는 위치정보 확보를 위한 핵심기술로 사용되고 있다(Cho et al., 2008; Kim, 2010). 그러나 좁은 골목길이나 테헤란로와 같이 고층 건물이 밀집

Received: 2016.03.03, revised: 2016.08.17, accepted: 2016.08.22

* 교신저자 · 정회원 · ㈜피솔 이사(Corresponding Author, Member, Director, PPSoln Inc., hikim@ppsoln.com)

** 정회원 · 인하대학교 공간정보공학과 교수(Member, Professor, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, kdpark@inha.ac.kr)

되어 있어 위성신호 수신에 어려운 난수신환경에서는 4 개 이상의 가시 위성 확보가 어렵다. 또한 위성의 기하학적 배치가 좋지 않으며 반사 및 굴절되어 수신되는 다중경로 신호가 많이 발생하기 때문에 GPS 동작이 불가능하거나 수 십 미터에서 수 킬로미터까지 위치오차가 발생하기도 한다. 특히 국내의 경우 좁은 골목길이나 고층 빌딩숲이 많기 때문에 난수신환경에서의 GPS 한계를 극복할 수 있는 기술개발이 반드시 필요하다.

난수신환경에서의 GPS의 한계를 극복하고 위치 정확도를 향상시키기 위하여 국내외에서 다양한 연구개발들이 이루어지고 있다. 가장 대표적인 방안으로는 GPS 외에 GLONASS(global navigation satellite system), BDS(BeiDou navigation satellite system) 등 타 위성항법시스템을 통합하여 활용하는 복합측위기술이 있다. 관련 연구로는 Kim et al.(2009), Seok et al.(2014), Park and Seo(2014) 등이 진행한 바 있다. 복합측위의 경우 가시위성 개수가 부족한 문제를 해결할 수 있으며 자료 품질에 따라 위성을 선별하여 활용할 수 있는 장점이 있다.

또한 3차원 건물모델을 이용하여 위치 정확도를 향상시키는 방안이 있으며, Suh and Shibasaki(2007), Kim(2009)이 3차원 건물모델을 이용한 가시성 분석 연구를 진행하였다. 특히 UCL(University College London) 연구팀의 Groves(2011)가 제안한 그림자맞춤(shadow matching) 기법은 3차원 건물 정보를 이용하여 위치결정 정확도를 향상시키는 방법으로 이에 관한 연구는 최근까지 지속적으로 진행되고 있다.

이 밖에도 Tan(2010)은 TDOA(time differential of arrival) 기법을 이용하여 2개 위성만으로 위치를 결정하는 방법을 제시한 바 있다. 마지막으로 다중경로 오차 모델링 및 저감을 위한 안테나 설계와 관련한 연구 등 다양한 알고리즘들에 대한 연구가 진행되어 왔다 (Shin et al., 2007).

이 연구에서는 일반 사용자들이 활용 가능한 저가의 GNSS(global navigation satellite system) 모듈을 대상으로 기존에 보급되어 있는 GNSS 장비들에 비해 난수신환경에 강건한 GNSS 측위 기술을 개발하였다. 먼저 이 연구에서 개발한 지능형 GNSS 측위 기술의 특징에 대해 설명하고 성능 검증을 위해 구축한 테스트베드, 그리고 개발기술의 성능검증 결과에 대해 기술하였다.

2. 지능형 GNSS 측위 기술 개발

이 연구에서는 골목길 및 도심지 환경에 강건한 지능형 GNSS 측위 기술 개발을 위하여 관측자료 선별 및

이상점 제거, 복합측위, 다중경로 오차 저감 기술 등을 적용하였다. 각각의 기술들에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

2.1 관측자료 선별 및 이상점 제거 기술

좁은 골목길 환경에서는 건물, 시설물 등의 신호차폐 요소 등으로 인해 관측자료의 품질이 저하된다. 관측자료의 품질을 판단할 수 있는 지표로는 관측 위성의 기하학적 배치(DOP, dilution of precision), SNR(signal to noise ratio), 고도각 등이 사용될 수 있다. 이 연구에서 개발한 지능형 GNSS 측위 기술에는 전처리 과정으로서 DOP, SNR, 고도각 등의 지표를 기반으로 관측자료를 선별하는 알고리즘이 적용되었다.

또한 이상점을 제거하기 위해서는 RAIM(receiver autonomous integrity monitoring) 기법을 활용할 수 있는데, 대표적으로 Observation Subset Testing, Forward- Backward FDE, Danish 기법 등이 있다. 이 연구에서는 Danish 기법을 적용하였다. Danish 기법은 다른 방법들에 비해 구현이 간단하고 계산이 효율적이며 항법응용 분야에서도 좋은 성능을 나타낸다 (Kuusmiemi, 2005).

Danish 기법은 IRLS(iteratively reweighted least square)으로 각 반복계산시 잔차의 크기를 임계값과 비교하여 가중치를 지수함수의 형태로 감소시키는 방법이다. $k+1$ 번째 반복계산에서의 관측데이터 i 와 해당 관측데이터에 대한 공분산 $\sigma_{i,k+1}^2$ 은 Eq. (1)과 같이 계산된다.

$$\sigma_{i,k+1}^2 = \sigma_{i,0}^2 \cdot \begin{cases} \exp(|\overline{w_{i,k}}|/T), & |\overline{w_{i,k}}| > T \\ 1, & |\overline{w_{i,k}}| \leq T \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{with } \overline{w_{i,k}} = \frac{\hat{v}_{i,k}}{\sqrt{(\mathbf{C}_{\hat{v}_{i,1}})_{ii}}}$$

Eq. (1)에서 $\hat{v}_{i,k}$ 는 k 번째 반복계산 후 관측데이터 i 의 잔차를 나타내며, $\mathbf{C}_{\hat{v}_{i,1}}$ 는 첫 번째 반복계산 후 계산된 공분산 대각행렬의 i 번째 대각요소이다. $\sigma_{i,0}^2$ 은 분산의 선형적 초기값이며, T 는 임계값을 나타낸다. Danish 기법에 대한 더 상세한 사항은 Kuusmiemi (2005)를 통해 확인할 수 있다.

2.2 자료처리 전략

자료처리에는 GPS/GLONASS 복합측위로 두 개 시스템을 통합하여 사용할 수 있도록 구현하였다. GPS/

GLONASS/BDS 세 개 시스템을 통합하는 복합측위 역시 가능하나, 현재 시중에 보급되어 있는 저가 GNSS 모듈 중에서는 GPS/GLONASS/BDS 원시자료를 동시에 출력해주는 모델이 없기 때문에 우선 두 개 시스템만을 통합하여 성능을 검증하였으며, 추후 GPS/GLONASS/BDS 원시자료의 동시 출력이 가능한 모델이 출시되면 성능검증을 추가로 진행할 예정이다.

GNSS 위치결정에는 일반적으로 최소제곱법(least squares estimation), 칼만필터(Kalman filter) 등이 활용되는데 이 연구에서는 확장형 칼만필터(EKF, extended Kalman filter)를 적용하였다. 칼만필터를 이용하여 자료처리를 할 때 필터의 성능을 좌우하는 가장 중요한 사항은 실제 시스템과 최대한 유사하도록 시스템 모델을 설계하는 것이다. 특히 시스템 잡음과 측정 잡음에 대한 최적화가 필수적인데 잡음의 특성 외에 여러 가지 오차가 복합적으로 작용하기 때문에 시스템에 대한 경험을 바탕으로 적절한 값으로 결정해야만 한다. 개발기술은 시스템 잡음의 경우 경험적으로 다수의 자료처리 결과를 근거로 최적화하였으며, 측정 잡음의 경우 다중경로 오차를 고려한 SNR 특성 분석을 통해 최적화하였다. 측정 잡음 결정에 대한 상세한 내용은 다음 절에 상세히 기술하였다. 이밖에도 개발기술의 경우 사용자의 정지/이동 여부, 이동 속도 등을 고려하여 칼만필터의 시스템 모델이 최적화될 수 있도록 설계되었다.

2.3 다중경로 오차 저감 기술

다중경로 신호의 영향을 최소화하기 위해서는 앞서 2.1절에 기술한 바와 같이 다중경로 신호로 판단되는 위성의 관측자료를 제외시키는 방법이 있다. 그러나 난수신환경에서는 다중경로 신호를 모두 제외하면 충분한 관측자료가 확보되지 않아 측위가 불가능한 경우가 발생하게 된다. 따라서 이 연구에서는 SNR을 기반으로 각 관측신호에 가중치를 부여하여 자료처리에 활용함으로써 다중경로 신호에 의한 영향을 최소화 할 수 있도록 하였다.

SNR 또는 고도각을 기반으로 가중치를 부여하는 모델들로는 고도각 모델, 지수함수 모델(Li and Wu, 2009), 시그마 모델(Langley, 1997; Li and Wu, 2009; Wieser and Brunner, 2000), SNR-고도각 모델(Tay and Marais, 2013) 등이 있다. 그러나 기존의 가중치 모델들은 개활지 환경에서 나타나는 일반적인 SNR 특성에 따라 가중치를 부여하는 경우가 대부분이며 난수신환경에서는 효용성이 낮게 나타난다. 따라서 이 연구에서는 보다 효과적으로 가중치를 부여하기 위하여 Kim(2015)이 제안한 새로운 가중치 모델인 HK 모델

을 적용하였다.

HK 모델은 연속적으로 수신되는 관측신호의 SNR 값과 표준편차 값을 기반으로 다중경로 신호와 직선경로 신호를 구분하여 서로 다른 가중치 모델을 적용하는 방법이다. 다중경로 신호로 예상되는 위성신호를 대상으로 측정잡음을 크게 부여하기 때문에 해당 신호가 위치추정 결과에 미치는 영향을 최소화 할 수 있다. Eq. (2)는 HK 모델식을 나타낸 것이다. Eq. (2)에서 σ_{SNR} 는 연속으로 수신된 10개 에포크의 SNR 값의 표준편차를 나타내며 SNR_{min} 은 SNR의 최소값으로 관측장비 및 관측환경에 따라 한 가지 값으로 고정하여 파라미터화 할 수 있다. A, B, α, β 는 HK 모델의 파라미터이다. HK 모델에 대한 상세한 내용은 Kim(2015)에서 참고할 수 있다.

$$\begin{cases} \sigma_{SNR} > 1.0, \\ \sigma_i^2 = A \cdot e^{\alpha(SNR_{min} - SNR)} \\ \sigma_{SNR} \leq 1.0, \\ \sigma_i^2 = B \cdot e^{\beta(SNR_{min} - SNR)} \end{cases} \quad (2)$$

기존의 다양한 가중치 모델들과 HK 모델의 수평 정확도를 비교한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 정확도 비교는 개활지 환경(open sky), 일반 도심환경(typical city street), 난수신환경(urban canyon)을 구분하여 수행하였다. 개활지 환경으로는 울산의 임시기준국, 일반 도심환경으로는 인천광역시 송도 신도시를 대상으로 하였으며 난수신환경으로는 서울시 강남구 테헤란로를 대상으로 하였다. 개활지환경과 난수신환경의 관측 자료는 1초 간격의 1시간 자료, 총 24개 데이터셋을 자료처리 하였으며, 일반 도심환경의 경우는 1초 간격의 1시간 자료 총 3개의 데이터셋을 자료처리하여 데이터셋별로 산출된 RMS(root mean square) 오차의 평균값을 나타낸 것이다.

Fig. 1에는 가중치를 부여하지 않는 경우와 고도각 모델, 시그마 모델, SNR-고도각 모델, 지수함수 모델, HK 모델을 적용한 경우를 각각 ‘w/o weight’, ‘Elevation’, ‘Sigma’, ‘SNR-Elevation’, ‘Exponential’, ‘HK’로 표기하였다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 기존의 모델들에 비해서 HK 모델을 적용했을 때 정확도가 눈에 띄게 향상되는 것을 확인할 수 있다. 개활지 환경의 경우 가중치가 없을 경우 수평 4.6m 정확도인데 반해 HK 모델을 적용했을 때 수평오차가 3.0m까지 향

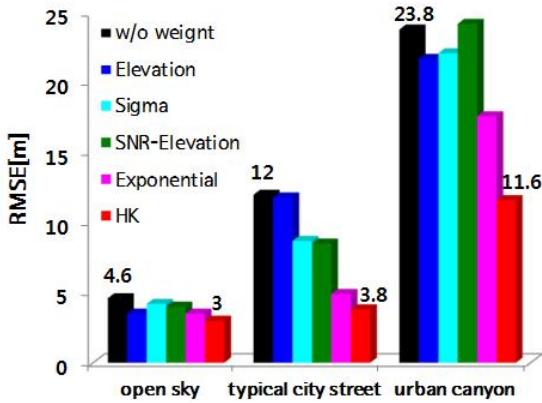


Figure 1. Horizontal RMS positioning errors by weight models in open sky, typical city street and urban canyon

상되었으며, 난수신환경의 경우에는 가중치가 없는 경우보다 HK 모델을 이용할 때 정확도가 2배 이상 향상되어 관측환경이 불량할수록 개발기술이 더욱더 효과적임을 확인할 수 있다.

3. 테스트베드 구축 및 정확도 평가

개발기술의 성능을 검증하기 위하여 개활지 환경과 골목길 환경을 대표하는 소규모의 테스트베드를 구축하였다. 개활지 환경으로는 인천 정석항공과학고등학교 운동장에 R1과 R2를 선정하였으며, 골목길 환경으로는 인하대학교 후문에 위치한 도로폭 10m 이내 좁은 골목길을 대상으로 P1에서 P9까지 총 9개의 측점으로 구성하였다.

각 테스트베드 내의 측점은 Fig. 2에 항공사진과 함께 나타내었다. Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 R1과 R2는 개활지 환경인 운동장에 위치하고 있으며, P1~P4는 남북방향 도로에, P5~P9는 동서방향 도로에 위치하고 있다. Fig. 3(a)는 R1의 환경을 나타낸 것이며, Fig. 3(b)는 P6의 환경을 나타낸 것이다.

이 연구에서는 GPS 정밀자료처리 및 토탈스테이션 측량을 통해 각 측점의 정밀좌표를 산출하고 측정값과 정밀좌표의 비교를 통해 RMS 오차를 산출하여 개발기술의 측위 정확도를 평가하였다. R1과 R2는 측지용 장비인 JAVAD Sigma 수신기와 JAVAD GrAnt-G3T 안테나를 이용하여 2시간씩 GPS 관측자료를 수집하고 이를 고정밀 자료처리 소프트웨어 GIPSY-OASIS로 자료처리하여 수 cm 정확도의 정밀좌표를 도출하였으며,

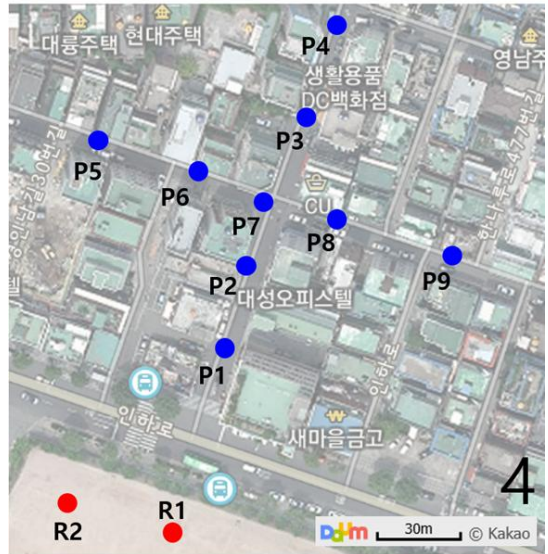


Figure 2. Measurement point in test-bed

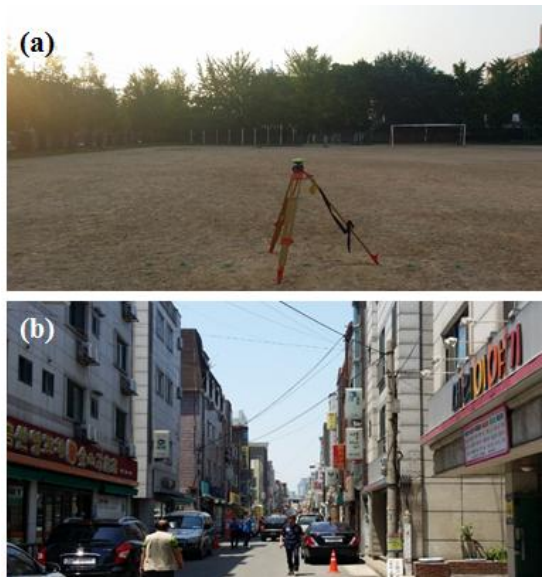


Figure 3. Observation environment of R1(a) and P6(b)

R1과 R2를 기지점으로 골목길 내 측점 P1~P9로 이어지는 추가 보조점들을 활용하여 토탈스테이션 측량 기반의 각 측점 정밀 좌표값을 산출하였다.

정확도 평가를 위한 측량은 2015년 10월 22일에 각 측점당 약 10분씩 진행하였으며 골목길 환경의 경우 주차되어 있는 차량 때문에 측정이 불가능한 측점들은 제외한 P2, P3, P7, P8에서 수행하였다. 관측장비의 구



Figure 4. Equipments for accuracy evaluation(a) Smartphone and u-blox antenna, (b) u-blox receiver and antenna)

성은 Fig. 4와 같다. Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 스마트폰과 u-blox 안테나를 나란히 위치하도록 두고 동시 관측을 실시하였으며 이 때 원시자료는 Fig. 4(b)의 저가 모듈이 탑재되어 있는 u-blox EVK-M8T를 이용하여 수집하였다. 해당 장비는 GPS/GLONASS 또는 GPS/BeiDou 모드를 지원하며 원시자료 출력 기능이 탑재되어 있다. 제원상 위치 정확도는 2.5m CEP (circular error probability)이며 5Hz까지 위치결정이 가능하다.

개발기술을 이용하여 u-blox EVK-M8T에서 출력되

는 GPS/GLONASS 원시자료 중 코드데이터를 처리하였으며, 기존 기술과의 성능 비교를 위해 u-blox EVK-M8T와 삼성 Galaxy Note 2 스마트폰 내 자체 알고리즘을 통해 산출되는 NMEA(national marine electronics association) 결과를 함께 비교하였다. u-blox와 스마트폰에서 출력되는 NMEA 결과 역시 개발기술 자료처리와 마찬가지로 GPS/GLOANSS 코드데이터 처리 결과이다.

4. 정확도 평가 결과

4.1 정지측위

개발지 환경에서의 정지측위 정확도는 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 ‘JPS’는 이 연구에서 개발한 지능형 GNSS 측위 기술을 나타내며, ‘u-blox’는 u-blox EVK-M8T에서 내부 알고리즘으로 산출된 결과를 의미한다. 그리고 스마트폰에서 출력된 결과는 ‘smartphone’으로 표기하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 지능형 GNSS 측위 기술을 이용할 경우 기존의 장비를 사용할 경우보다 대부분의 경우 정확도가 향상되었으며 3차원 RMSE의 경우 u-blox의 결과 대비 평

Table 1. Result of accuracy evaluation at open sky

	JPS	u-blox	smartphone
Horizontal RMSE (m)			
R1	1.9	1.6	2.3
R2	1.9	1.6	3.5
Vertical RMSE (m)			
R1	1.2	5.3	5.7
R2	2.6	4.4	4.1
3D RMSE (m)			
R1	2.3	5.5	6.2
R2	3.2	4.7	5.4

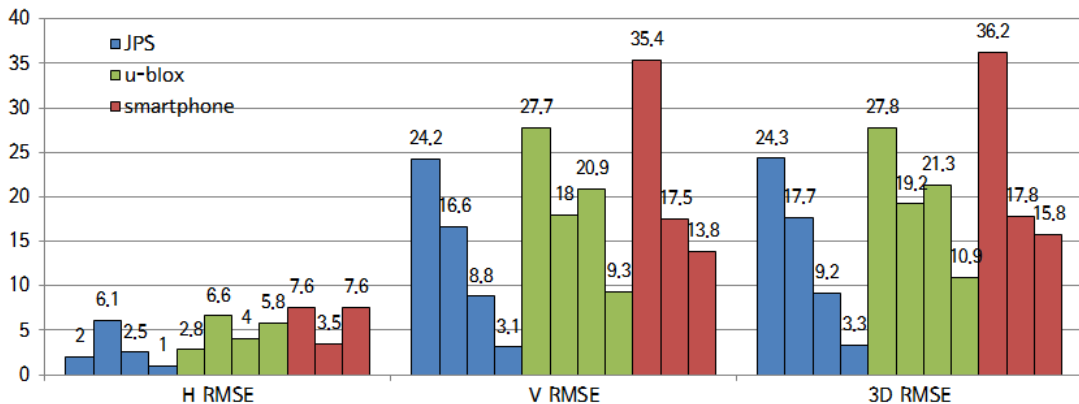


Figure 5. Horizontal, vertical, 3D RMS errors in narrow alley

균 45%, 스마트폰의 결과 대비 평균 52% 향상되는 것을 확인하였다.

골목길 환경에서의 정지측위 정확도는 Fig. 5에 나타내었으며, Table 1과 동일하게 ‘JPS’, ‘u-blox’, ‘smartphone’으로 표기하였다. 스마트폰 결과의 경우 측점 P3에서의 테스트 당시 스마트폰의 NMEA 수집 앱의 동작이 불안정하여 결과 데이터 저장이 누락되었다. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 골목길 환경에서도 개발 기술을 이용할 경우 대부분 정확도가 향상되는 것을 확인하였으며 u-blox 대비 평균 37%, 스마트폰 대비 평균 53% 3차원 정확도가 향상되는 것을 확인하였다.

한 가지 특이한 사항은 Fig. 2를 보면 P7의 상공시계가 P8의 상공시계에 비해 양호한 것으로 확인되지만 Fig. 5의 정확도 평가 결과에서는 P8에서의 정확도가 P7에서의 정확도보다 높게 나타났다. 두 측점에서 관측된 위성을 비교해본 결과 PRN 6, 7번이 P7에서 추가 관측되었으며, 추가 관측된 위성의 고도각과 SNR을 분석하였다. 그 결과 위성의 고도각이 약 15°로 매우 낮게 나타났으며, SNR 역시 매우 낮고 표준편차가 큰 불안정한 신호가 수신되었음을 확인하였다. 가시위성이 많아지더라도 골목길 환경이라는 특수한 환경 때문에 다중경로 신호로 인해 정확도가 저하될 수 있음을 보여주는 좋은 예이다.

4.2 이동측위

골목길 테스트베드에서의 이동측위 결과는 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6은 테스트베드 내에서 P5에서 P9까지 왕복 2회 이동하고 P1로 이동하여 다시 P1에서 P4까지 왕복 2회 이동하면서 측위를 실시한 결과로 Fig. 6(a)는 지도에, Fig. 6(b)는 스카이라이프에 나타낸 것이다. P5에서 P9까지의 이동경로는 서쪽에서 동쪽 방향으로 약 100m 구간이며, P1에서 P4까지의 이동경로는 남쪽에서 북쪽방향으로 약 90m 구간이다. 골목길 내의 테스트베드는 관측환경이 워낙 좋지 않기 때문에 RTK(real time kinematic) 측량 등을 이용한 이동경로의 정밀좌표 산출이 불가능하며, 따라서 이동궤적으로만 정확도를 확인하였다.

Fig. 6을 통해 확인할 수 있듯이 u-blox 결과는 위치 결정 결과가 20m 이상 골목길을 벗어나는 경우가 발생하는 반면 개발기술을 이용할 경우 이동경로를 따라 골목길 내에 비교적 안정적으로 위치가 결정되는 것을 확인할 수 있다. 또한 기존기술의 경우 오차가 누적되어 점차 이동경로를 벗어난 방향으로 위치결정이 이루어지는 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 u-blox 결과의 경우 실제 이동경로의 시작·종료 지점

과 상이한 지점에서 시작·종료되는 것을 확인할 수 있으며, 측점과 측점을 일대일로 비교했을 때 그 차이가 매우 크게 나타난다. 장비 내부의 자료처리 알고리즘이 공개되는 양기 때문에 정확한 원인 분석은 어렵지만 초기좌표 계산 방법, 필터 파라미터 설계 등에 의해 이러한 결과가 나타나는 것으로 판단된다.

앞서 기술한 골목길 테스트베드에서의 테스트 외에도 정확한 성능 비교를 위하여 고층 건물들이 밀집되어 있어 위성신호 수신 환경이 불량한 지역에서 추가 테스트를 실시하였다.

테스트 지역은 서울 금천구 대성디폴리스 지식산업센터 앞 광장이며, 테스트 시 동일한 궤적으로 이동할 수 있는 직선경로와 곡선경로를 선정하고 보다 정확한 성능 검증을 위하여 VRS(virtual reference system) 측량으로 해당 경로의 기준좌표를 산출하였다. VRS 측량에는 Septentrio PolaRx3e 수신기와 JAVAD Delta-

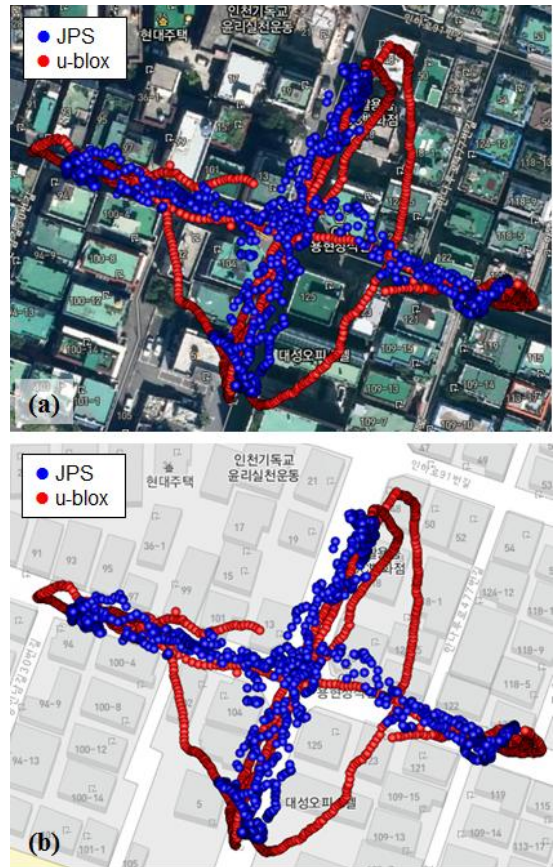


Figure 6. Traces of kinematic positioning using JPS and u-blox in narrow alleys

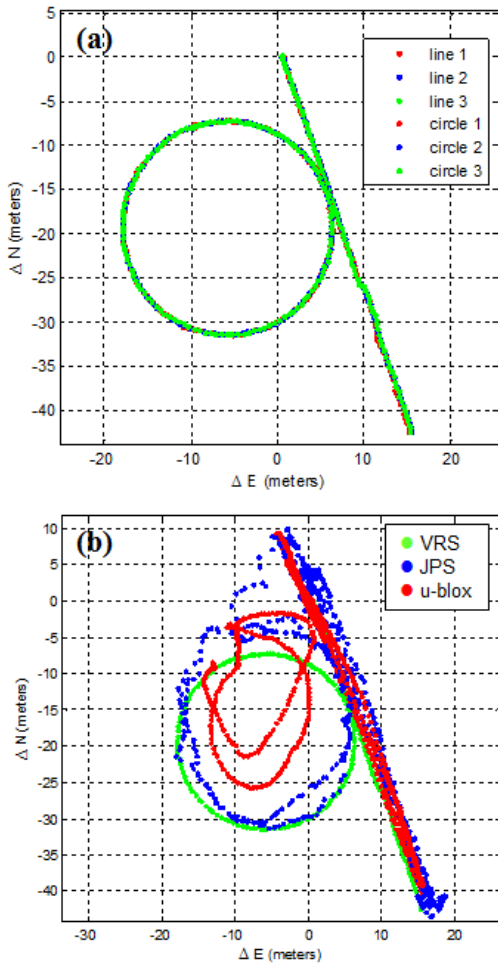


Figure 7. Traces of kinematic positioning using VRS, JPS, and u-blox in urban environment

G3T 안테나를 사용하였다. Fig. 7(a)는 VRS 측량을 직선경로 3회, 곡선경로 3회 실시한 결과를 나타낸 것이며, Fig. 7(b)는 동일한 경로에 대해 JPS와 u-blox로 동시에 2회 이동측위를 실시한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 7(b)를 통해 확인할 수 있듯이 기존 제품인 u-blox의 곡선경로 이동측위 결과는 실제 이동경로를 나타내는 VRS 궤적에서 수십 미터 이상 벗어나는 경우도 발생하며 위치결정 결과가 부정확한 반면 JPS의 결과는 VRS 결과를 유사하게 따라가고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 골목길이나 빌딩숲과 같이 난수신환

경에서 측위정확도를 향상시킬 수 있는 저가 모듈 기반의 지능형 GNSS 측위 기술을 개발하였다. 개발 기술은 기존의 저가 GNSS 장비, 스마트폰과 결과를 비교함으로써 성능을 검증하였다. 소규모로 구축한 테스트 베드에서의 정지측위와 이동측위 정확도를 비교하였는데 정지측위의 경우, 개활지 환경에서는 32~63%까지 정확도가 향상되었으며 골목길 환경에서는 크게는 79%까지 향상되는 것을 확인하였다. 이동측위의 경우 이동체적을 통해 정확도를 평가하였는데 기존의 저가 GNSS 장비와 스마트폰에 비해 편이가 적게 발생하고 비교적 안정적으로 측위가 가능함을 알 수 있었다. 개발기술은 내비게이션, 스마트폰 등을 통해 위치기반 서비스를 이용하는 일반 사용자를 비롯하여 컨테이너 관리, 도시 시설물 관리, 교통정보 수집 체계 등 위치정보가 활용되는 모든 분야에서 목적에 맞게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원사업의 연구비지원(15TBIP-C094407-01)에 의해 수행되었습니다.

References

1. 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.
2. Groves, P. D., 2011, Shadow matching: A new GNSS positioning technique for urban canyons, The Journal of Navigation, Vol. 64, No. 3, pp. 417-430.
3. Kuusniemi, H., 2005, User-level reliability and quality monitoring in satellite-based personal navigation, Doctoral thesis, Tampere University of Technology.
4. Kim, H. I., 2009, Development of integrated global navigation satellite system simulator for evaluation of positioning availability and accuracy improvement, Master's thesis, Inha University.
5. Kim, H. I., Park, K. D. and Lee, H. S., 2009, Development and validation of an integrated GNSS simulator using 3D spatial information, Vol. 27, No. 6, pp. 659-667.
6. Kim, H. I., 2015, Improvement of the real-time positioning accuracy in urban canyons through

- development of a new weight model based on GNSS signal strength, Doctoral thesis, Inha University.
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. Li, J. and Wu, M., 2009, The improvement of positioning accuracy with weighted least square based on SNR, *Proc. of 5th International Conference of Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Beijing, pp. 1–4.
 9. Langley, R., 1997, GPS receiver system noise, *GPS World*, Vol. 8, No. 6, pp. 40–45.
 10. Park, S. H. and Seo, K. Y., 2014, An analysis of the effect of multi-constellation GNSS on maritime augmentation service, *Proc. of ISGNSS 2014 in conjunction with KGS Conference*, Jeju, Korea.
 11. Seok, H., Lim, C., Yoon, D. and Park, B., 2014, Annual prediction of multi-GNSS navigation performance in urban canyon, *Proc. of ISGNSS 2014 in conjunction with KGS Conference*, Jeju, Korea, CD-ROM Procs.
 12. Shin, M. Y., Jang, H. J., Suh, S. H., Park, C. S., Hwang, D. H. and Lee, S. J., 2007, Evaluation of weighted correlator for multipath mitigation in GPS receiver, *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 31, No. 5, pp. 409–414.
 13. Suh, Y. C. and Shibasaki, R., 2007, Evaluation of satellite-based navigation services in complex urban environments using a three-dimensional GIS, *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E90–B, No. 7, pp. 1816–1825.
 14. Tan, Y. K., 2010, Positioning techniques with two GNSS satellites over time, *Proc. of the 23rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2010)*, Portland, OR, USA, pp. 207–216.
 15. Tay, S. and Marais, J., 2013, Weighting models for GPS pseudorange observations for land transportation in urban canyons, *Proc. of 6th European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*, p. 4.
 16. Wieser, A. and Brunner, F., 2000, An extended weight model for GPS phase observation, *Earth Planet Space*, Vol. 52, No. 10, pp. 777–782.