



< 기술논문 >

GPS/BDS 통합 측위를 이용한 주행차량의 위치정확도 분석

이종민¹⁾ · 박관동²⁾ · 정완석^{*1)}

한국국토정보공사 공간정보연구원 · 인하대학교 공간정보공학과

Analysis of Positioning Accuracy for DGNSS-based Land Navigation Using GPS/BDS Navigation Satellite System

Jongmin Lee¹⁾ · Kwandong Park²⁾ · Wanseok Jeong^{*1)}

¹⁾Spatial Information Research Institute, LX Spatial Information Research Institute, 163 Anjeon-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeonbuk 55365, Korea

²⁾Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea
(Received 6 April 2017 / Revised 17 April 2017 / Accepted 19 April 2017)

Abstract : The BeiDou Navigation Satellite System(BDS), which was developed by China, has begun servicing the Asian region in December 2012. The purpose of this paper is to evaluate the positioning performance required in land navigation through the integration of BeiDou and GPS/BeiDou. First, we discussed satellite visibility, signal-to-noise ratio(SNR), dilution of precision(DOP), and the positioning accuracy of BDS in determining the quality of signals in South Korea. Second, the vehicle driving test based on differential GNSS was carried out according to the signal reception environment. The results showed that the RMS(Root Mean Square) error was less than 50 cm(95 %) in the open sky by using BeiDou only, while integrated GPS/BeiDou improved by as much as 20 % in positioning accuracy compared with GPS Only.

Key words : GNSS(위성항법시스템), Pseudo-range correction(의사거리보정정보), BeiDou navigation satellite system(복두위성항법시스템), Position accuracy(위치정확도), Land navigation(육상항법), Autonomous vehicle(자율주행차)

1. 서론

GNSS(Global Navigation Satellite System)는 인공 위성을 기반으로 지상의 사용자에게 위치정보, 속도정보, 시각정보를 제공하는 시스템이다. 1970년대 군사용으로 개발된 미국의 GPS는 2000년 의도적으로 위치정확도를 저하시키기 위해 사용된 고의잡음(S/A: Selective availability)을 제거하여 민간부문의 활용성을 크게 높였다.

위성항법시스템은 교통, 물류, 측지 등 다양한 분야에 활용되고 있으며, 국가 안보 측면에서도 매우

중요한 인프라로 인식되고 있어 미국의 GPS외에도 러시아의 GLONASS, 중국의 BeiDou, 유럽의 Galileo 등 국가별, 지역별로 독자적인 위성항법시스템을 구축하고 있다.

항공, 해양, 육상항법은 분야별로 요구되는 정확도는 다르지만 공통적으로 사용자의 위치를 인식하는 측위 기술을 기반으로 하고 있다. 국제민간항공기구(ICAO: International Civilian Aeronautical Organization)와 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)는 항공기와 선박의 안전운항을 위해 위성항법시스템을 의무적으로 사용하도록 권고하고 있으나, 육상교통의 경우 위성 가시성을 확보할

*Corresponding author, E-mail: jws02@lx.or.kr

수 없는 터널, 지하도로, 고층건물 등으로 인해 GNSS 사용 환경이 항공이나 해양 분야에 비해 열악하다.

자율 주행 분야에서는 이러한 GNSS의 한계를 보완하기 위해 관성항법장치(IMU: Inertial Measurement Unit), 영상카메라, 라이다(Lidar) 등을 활용한 센서 융합기반의 정밀 측위시스템 개발이 활발하게 진행되고 있다. 육상항법의 특성을 고려한 위치 정확도는 차로구분 수준인 50 cm(2DRMS) 이하, 무결성은 최대허용오차 1.5 m 이하를 요구하고 있다.¹⁾

센서 기반의 자율주행 기술은 주변 환경을 인식하여, 판단 및 주행전략을 생성하고 차량을 제어하는 3가지 기술로 구성된다. 차량 위치가 부정확한 경우 주행 안정성 확보와 경로 유지가 어렵기 때문에 정확한 차량 위치를 추정하는 것이 중요하다.²⁾

위성항법시스템은 다른 측위 센서에 비해 저렴한 가격과 높은 신뢰성을 확보할 수 있는 장점이 있지만 오차보정이 되지 않은 위치정확도는 3 m ~ 5 m로 육상교통에 요구되는 성능을 확보하기 위해서는 DGSS, RTK와 같은 추가적인 오차보정기법이 필요하다.³⁾ 위치결정에 사용되는 GNSS 관측값은 코드 기반의 의사거리와 반송파 위상으로 구분된다. 의사거리기반의 위치결정은 공통오차를 제거하는 차분기법(Differential GNSS)을 통해 20 cm ~ 30 cm 까지 정확도를 향상시킬 수 있으며, 반송파 기반 위치결정은 cm 수준의 위치정확도를 얻을 수 있으나 위성과 수신기간 미지정수(Integer Ambiguity)를 정확하게 계산해야하는 단점이 있다.⁴⁾

차선이탈과 차량제어를 위해 DGPS를 적용한 연구 결과에서는 육상 교통에 필요한 정확도를 확보 가능한 것으로 알려져 있다.^{5,6)}

본 연구는 GPS와 GLONASS가 대부분을 차지하고 있는 항법분야에 BeiDou를 이용하여 차량의 위치결정 성능을 분석하였다. BeiDou는 2014년 국제해사기구(IMO)로부터 국제전파항법시스템으로 인정을 받아 국제법상 유효성을 가지게 되었으며, GPS, GLONASS와의 호환성 및 상호 운영성을 확보하기 위한 협력을 지속적으로 확대해가고 있다.⁷⁾ BeiDou는 지속적으로 성능이 개선되고 있어 신호품질 분석을 통해 위치결정 성능을 예상할 수 있다. 2장에

서는 BeiDou 위성항법시스템의 특징을 살펴보고, 3장에서는 BeiDou의 신호품질과 위치정확도를 GPS와 비교하였으며, 4장에서는 차량주행실험을 통해 BeiDou 단독, GPS 단독, GPS/BeiDou 결합 시스템의 위치정확도를 분석하여 육상교통 및 자율주행 기술에 적용할 수 있음을 제시하였다.

2. BeiDou 위성항법시스템

2.1 BDS 개발 계획

중국은 1994년 독자적인 위성항법시스템 개발을 위한 전략을 수립하였으며, 2000년~2020년까지 3단계로 BDS(BeiDou Navigation Satellite System)를 구축 중에 있다. 1단계는 3기의 정지위성을 배치하고, 지상 제어국 및 기준국을 구축하여 시험운동을 마쳤으며, 2단계는 14기의 위성으로 아시아 지역에 서비스를 제공하고, 3단계는 35기 이상의 위성을 배치하여 지구 전역에 위치, 속도, 시각정보 서비스를 계획하고 있다. 단계별 세부내용은 Table 1과 같다.⁸⁾

Table 1 Development plan of BeiDou Navigation Satellite System

	1st stage	2nd stage	3rd stage
Period	2000 ~ 2003	2004 ~ 2012	2013 ~ 2020
# of Sat.	3 (3 GEO)	14(5 GEO, 5 IGSO, 4 MEO)	35(5 GEO, 5 IGSO, 25 MEO)
Main function	Positioning	Positioning/ Velocity/ Time	Positioning/ Velocity/ Time
Service area	China	Asia-Pacific	Global
Accuracy (P,V,T)	20 m, -, 100 ns	10 m, 0.2 m/s, 50 ns	10 m, 0.2 m/s, 50 ns

2.2 BeiDou 위성항법시스템 특징

GPS와 GLONASS가 동일한 중궤도 위성으로 구성된 것과는 다르게 BeiDou 항법시스템은 정지궤도위성(GEO, IGSO)과 중궤도위성(MEO)을 조합하여 위성의 기하학적 배치를 최적화하였다.

5기의 정지궤도위성은 적도상공에서 경도 58.75 °E, 80 °E, 110.5 °E, 140 °E, 160 °E에 각각 위치하고 있으며 고도는 35,786 km이다. 경사정지궤도위성은 지상에서 매일 동일한 궤적을 관측할 수 있도록 설계

되어 있으며, 55°의 궤도경사면을 가지고 있다. BeiDou는 위성위치 계산에 필요한 파라미터를 GPS와 동일하게 제공하고 있어 GLONASS에 비해 Multi-GNSS 구현이 용이하다.

2.3 BDS 구축 현황

2012년 12월 BeiDou 항법시스템은 정지궤도위성 5기, 경사정지궤도위성 5기, 중궤도위성 4기 등 14기의 위성 배치를 완료하여 완전운영능력(FOC: Full Operation Capability)을 확보하였으며, Fig. 1과 같이 아시아-태평양지역에서 서비스를 시작하였다. 2016년 12월 기준으로 16기의 위성이 배치되어 있으며, 우리나라에서는 정지궤도위성 4기와, 경사정지궤도위성 5기, 중궤도위성 4기를 관측할 수 있다.

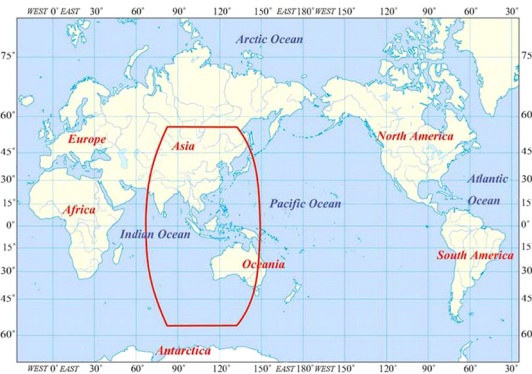


Fig. 1 BDS service area

2.4 GPS/BeiDou 통합 알고리즘

코드신호를 이용한 위성항법시스템의 위치결정은 위성과 수신기간 의사거리 측정에 기반을 둔 관측 방정식을 이용하며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.⁹⁾

$$\rho_{gps} = r + c \cdot \delta t_{gps} + e_{\rho} \text{ (GPS)}$$

$$\rho_{bds} = r + c \cdot \delta t_{bds} + e_{\rho} \text{ (BeiDou)}$$

Where

ρ_{gps}, ρ_{bds} : pseudo-range measurement of GPS, BDS

r : geometric distance between satellite and receiver

$\delta t_{gps}, \delta t_{bds}$: receiver clock error of GPS, BDS

e_{ρ} : measurement noise

c : speed of light

GPS에 BeiDou를 통합하는 경우 기존 미지변수 (x, y, z, dt_{gps})에 BeiDou의 수신기 시계오차 항(dt_{bds})이 추가되어 모두 5개의 미지변수를 갖게 된다. 따라서 비선형 정규방정식은 식 (2)와 같이 구성할 수 있다.¹⁰⁾

$$\Delta \rho = [\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n]^T \quad (2)$$

$$H = \left[\frac{x^s - x_r}{r}, \frac{y^s - y_r}{r}, \frac{z^s - z_r}{r}, dt_{gps}, dt_{bds} \right]$$

$$\Delta x = [dx_r, dy_r, dz_r, dt_{gps}, dt_{bds}]^T$$

Where $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$

x^s, y^s, z^s : pseudo-range measurement satellite position

x_r, y_r, z_r : receiver position

dx_r, dy_r, dz_r : increment of receiver position

2.5 Differential GNSS

DGNSS 기법은 의사거리에 포함된 오차를 보정하여 위치정확도를 향상시키는 방법으로 DGNSS 기준국은 이미 알고 있는 좌표와 수신된 신호로 계산된 좌표의 차이를 각 위성별 의사거리로 보정정보(PRC: Pseudo-Range Correction)를 제공한다. 의사거리에 포함된 오차는 위성 궤도, 위성 시계, 대류층, 전리층 오차 등의 공통 오차와 수신기 시계, 수신기잡음, 다중경로오차 등의 비공통 오차 성분으로 구분할 수 있으며, DGNSS 기준국은 공통오차 성분을 제거한 각 위성의 의사거리 보정정보를 식 (3)을 이용하여 계산한다.¹¹⁾

$$PRC = r - \rho - c(dt_s - dt_r) \quad (3)$$

Where PRC : pseudo-range corrections

dt_s, dt_r : clock error of satellite/receiver

기준국에서 생성된 의사거리보정 정보는 사용자에게 전송되며, 사용자는 관측된 위성신호에 의사거리보정 정보를 더하여 위치를 산출한다. DGNSS의 성능은 기준국과 사용자의 기선거리가 멀어질수록 정확도가 낮아지는 한계가 있으며, 정확도는 수십 cm이다. 본 연구에서는 의사거리보정 정보를 실험주행 차량에 적용하여 정확도를 산출하였다.

3. BeiDou 위치결정 성능분석

3.1 관측값 취득

위성신호 품질분석은 한국국토정보공사가 운영하는 무주(MJOO) 기준국에서 GPS L1, Beidou B1 신호를 각각 30초 간격으로 관측한 데이터를 사용하였으며, 관측장비는 라이카사의 AR25 안테나(SCIS 레이돔) 및 GR25 수신기를 사용하였다. 관측일시는 2017년 3월 18일(00:00~24:00)이며, 위성 절사각은 10°로 설정하였다.



Fig. 2 MJOO GNSS permanent station(left) and GNSS equipment(right)

3.2 위성 배치

BeiDou의 위성배치는 Fig. 3(left)과 같이, 남쪽 방향에 4기의 정지궤도(GEO)위성이 고도각 43° ~ 47° 범위에서 관측되며, 경사정지궤도위성(IGSO)은 남쪽방향에서 고도 0° ~ 90° 범위의 궤적을 1항성일 주기로 반복하고 있다. 중궤도위성(MEO)은 12시간 50분을 주기로 3개의 궤도면에 공전하며, GPS와 유사한 궤적으로 이동한다.

BeiDou 위성은 주로 남쪽방향에 편중되어 있으며, 이는 정지궤도 및 경사정지궤도위성으로 구성되어 있는 초기 운영의 한계로 20기의 중궤도 위성이 추가로 배치되는 2020년까지 위성배치는 지속적으로 개선될 것이다.⁷⁾

Fig. 4는 무주(MJOO)기준국에서 관측된 BeiDou 위성을 시간별로 나타낸 것으로 정지궤도위성(C01~C04)은 24시간 관측되고 있으며, 경사정지궤도위

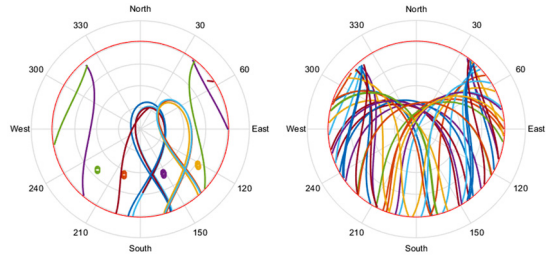


Fig. 3 Sky plot (left BDS, right GPS)

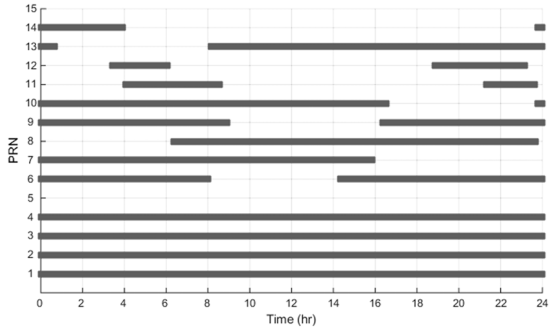


Fig. 4 BeiDou satellite visibility

성(C06~C10)과 중궤도위성(C11~C14)은 위성궤도와 시간 따라 관측시간이 다르게 나타난다.

3.3 정밀도저하율 (DOP: Dilution of Precision)

정밀도 저하율(DOP)은 위성의 기하학적인 배치가 위치정확도에 미치는 영향을 수치로 나타낸 것으로 수치가 낮을수록 양호한 위성배치를 의미한다. PDOP은 위치정밀도에 영향을 미치는 DOP로 위성 과 수신기가 이루는 사면체의 체적에 반비례한다.

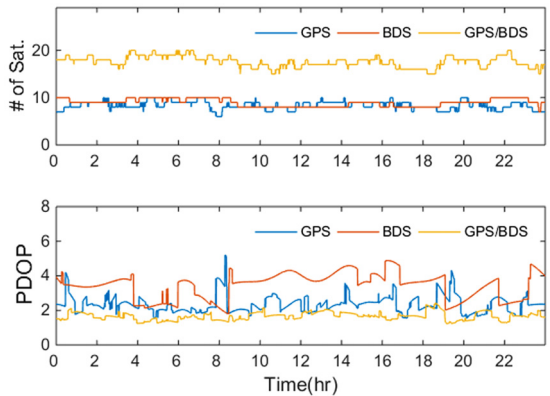


Fig. 5 Satellite visibility of BeiDou

2017년 3월 18일 무주(MJOO)기준국의 가시위성 수와 PDOP은 Fig. 5와 같다. BDS의 가시위성은 GPS와 동일하거나 일부시간대(21:00~24:00)에서는 더 많은 위성이 관측되지만, GPS 보다 높은 PDOP을 보이고 있어 위성의 기하학적인 배치는 GPS가 더 양호하였다.

3.4 신호잡음비 (SNR : Signal-To-Noise Ratio)

SNR은 위성 신호와 잡음의 비율로 GNSS 신호의 강도를 표현 하는 지표이다. 위성신호가 약해지는 원인은 주변 장애물에 굴절되거나 반사되어 안테나에 도달하는 경우이다.

SNR은 수신기의 종류, 신호전달 거리에 영향을 받으며 위성 고도각의 함수로⁹⁾ SNR이 높을수록 위성신호의 품질이 좋으며, 상공이 개방된 지역에서는 45 dB-Hz 이상 되어야 신호의 가용성을 확보할 수 있다. 위성고도에 따른 SNR은 Fig. 6과 같다. BeiDou의 SNR은 위성고도에 따라 43~48 dB-Hz 범위에 있으며, GPS에 비해 5 dB-Hz 정도 낮은 것을 확인할 수 있다.

3.5 위치정확도

BeiDou의 위치정확도는 단독측위와 코드기반 차분기법을 적용하여 GPS와 비교하였다.

Fig. 7과 Table 2는 위성항법시스템별 단독측위 결과이다. BeiDou의 RMSE는 2.35 m(95%)로 GPS의 RMSE 1.62 m(95%)보다 큰 오차를 보이고 있으며, GPS/ BeiDou를 결합한 측위오차는 1.28 m(95%)로 GPS 단독측위에 비해 25%의 정확도가 향상되는 것으로 나타났다.

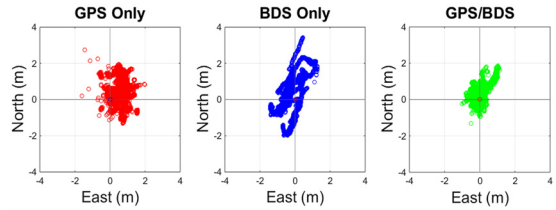


Fig. 7 Position scatter plot (Stand alone)

Table 2 Position accuracy (Stand alone)

Stand-alone	RMSE(m)			DRMS (65%)	2DRMS (95%)
	E	N	U		
GPS Only	0.41	0.70	1.62	0.81	1.62
BDS Only	0.58	1.02	2.82	1.17	2.35
GPS/BDS	0.38	0.51	1.70	0.64	1.28

두 항법시스템을 결합하여 사용할 경우 가시위성수의 증가 및 DOP의 감소로 인한 정확도 향상이며, BeiDou의 오차가 남북방향으로 크게 나타나는 원인은 위성배치상태가 남쪽에 편중되어 있기 때문이다.

코드기반 차분기법은 괴산(GEOS)기준국에서 생성한 의사거리보정정보를 무주(MOOJ)기준국에 적용한 결과이며, 두 기준국간의 거리는 약 89 km이다. 코드기반 차분기법의 결과는 Fig. 8, Table 3과 같으며, RMSE는 GPS 단독, BeiDou 단독, GPS/BeiDou 결합방식이 각각 0.32 m(95%), 0.76 m(95%), 0.31 m(95%)로 단독측위 방식에 비해 70%의 측위정확도가 향상되었다. 단독측위와 동일하게 코드기반 차분기법도 GPS에 비해 BeiDou의 오차가 크게 나타나며, GPS/BeiDou 결합 시스템의 위치정확도가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

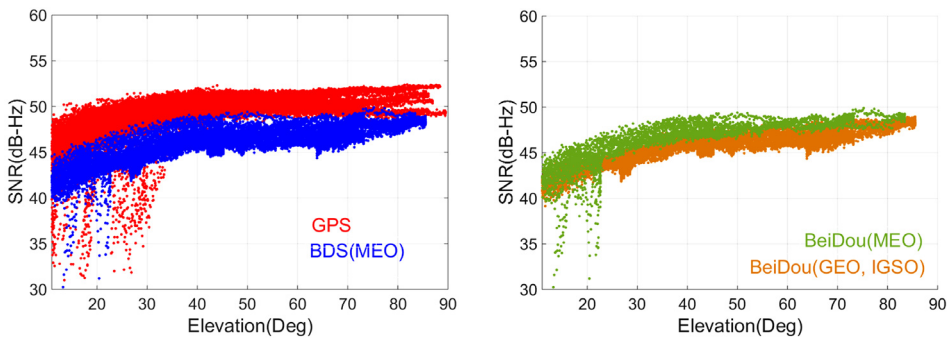


Fig. 6 SNR of GPS L1, BeiDou B1(right) and SNR of GEO and MEO of BeiDou

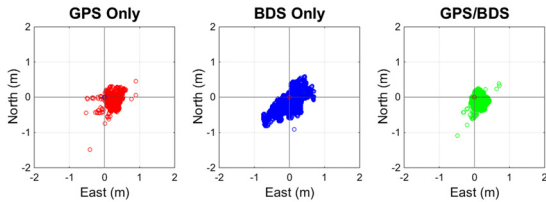


Fig. 8 Position scatter plot (DGNSS)

Table 3 Position accuracy (DGNSS)

DGNSS	RMSE(m)			DRMS (65 %)	2DRMS (95 %)
	E	N	U		
GPS Only	0.10	0.12	0.31	0.16	0.32
BDS Only	0.28	0.26	0.68	0.38	0.76
GPS/BDS	0.11	0.11	0.31	0.15	0.31

4. 차량주행실험

주행실험은 상공시계가 양호한 구간(1구간)과 고층 건물(아파트)이 밀집된 주거지역을 포함된 복합수신 환경 구간(2구간)으로 구분하여 수행하였다. 차량의 측위정확도 검증은 주행 중 1초 간격으로 측정된 Network-RTK(VRS) 결과와 코드기반 DGNSS 후처리 결과를 비교하였다. 의사거리보정정보(PRC)는 무주(MJOO)기준국에서 생성하였으며, 주행실험 지역인 전주혁신도시와 약 55 km 떨어져 있다. 주행시험에 사용된 장비는 라이카사의 GS16이며, 실험일시는 2017년 3월 20일, 14:00~15:00 이다.



Fig. 9 Test environment(left) and rover equipment(right)

4.1 개활지 구간 (1구간)

Fig. 10은 개활지 구간의 경로이며 거리는 약 2.7 km이다. 주행경로 주변은 농경지로 가로수 외에 위성신호 수신에 방해가 되는 장애물은 없으며, 2회 반복한 실험 결과는 BeiDou 단독, GPS 단독, GPS/BeiDou 결합시스템 모두 Table 4와 같이 2DRMS 오



Fig. 10 Test trajectory (Open sky)

Table 4 RMSE values of the test trajectory in open sky

DGNSS	RMSE(m)			DRMS (65 %)	2DRMS (95 %)
	E	N	U		
GPS Only	0.09	0.13	0.36	0.15	0.31
BDS Only	0.18	0.12	0.46	0.22	0.44
GPS/BDS	0.08	0.06	0.30	0.10	0.20

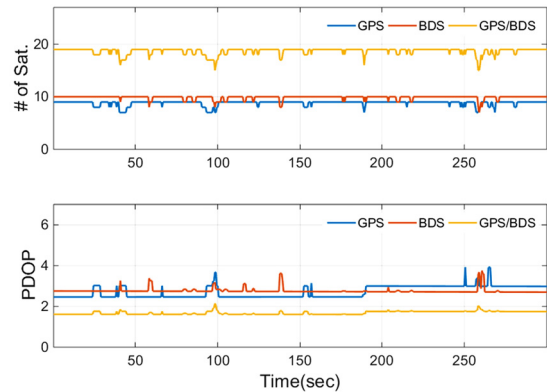


Fig. 11 Number of available satellites(top) and PDOP(bottom)

차가 50 cm 이하로 육상교통에 요구되는 정확도를 확보할 수 있었다.

주행 실험중 가시위성수와 PDOP은 Fig 11과 같으며, BeiDou의 가용위성은 9~10개, 평균 PDOP은 3 이하를 보였다.

BDS 단독, GPS 단독에 의한 위치 결정시 수평위치오차가 50 cm 이상 발생하는 경우가 나타났으나, GPS/BeiDou 결합 시스템의 경우 최대오차가 30 cm로 항법시스템을 통합하여 사용하는 경우 안정적인 위치추정이 가능함을 확인할 수 있다. 1구간의 수평오차와 수직오차는 Fig. 12와 같다.

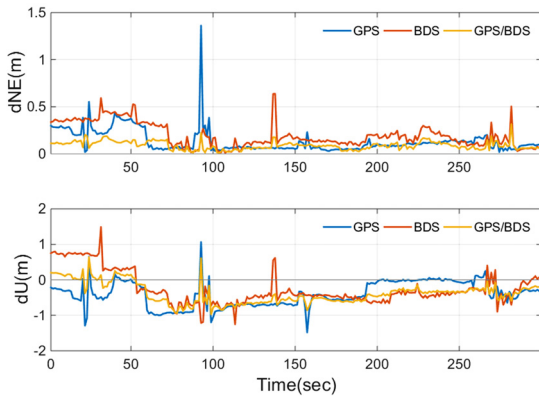


Fig. 12 Horizontal errors(top) and vertical errors(bottom)

4.2 복합 수신환경 구간 (2구간)

2구간은 다양한 위성신호 수신환경을 포함하는 구간을 선정하였다. Fig. 13과 같이 수신환경이 양호한 구간(하단 직선), 3층 이하 주거용 건물이 있는 구간(좌측 상단), 고층건물 밀집구간(중앙 상단)으로 구성되어 있으며, 주행거리는 약 3.5 km이다.

실험결과 저층 건물이 존재하는 지역은 수신환경이 양호한 지역과 동일한 위치정확도 나타내는 것으로 확인되었으나, Fig. 14와 같이 고층 건물이 밀집된 구간에서는 GPS/BeiDou 통합 시스템이 9개 이상의 위성을 관측할 수 있었음에도 PDOP이 급격하게 증가하고, 다중경로 신호의 영향으로 위치정확도는 20 m ~ 30 m까지 저하되었다. 또한 위치정확도 비교 기준인 Network -RTK는 고정해(Fixed Solution)를 산출하지 못하였으며, 정밀도 수준이 1 m 이상 벗어나는 것으로 확인되었다.

2구간에 대한 위치오차는 Fig 15와 같으며, 음영 지역 부분을 제외하고 계산된 RMSE Table 5에 정리

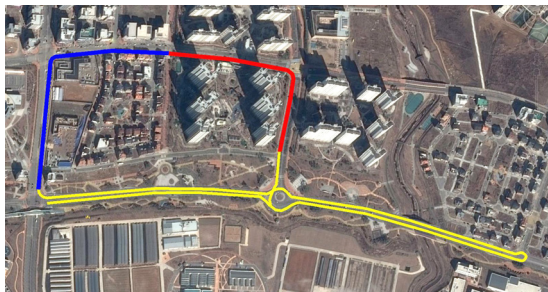


Fig. 13 Test trajectory(yellow: open sky, blue: low building, red: urban area)

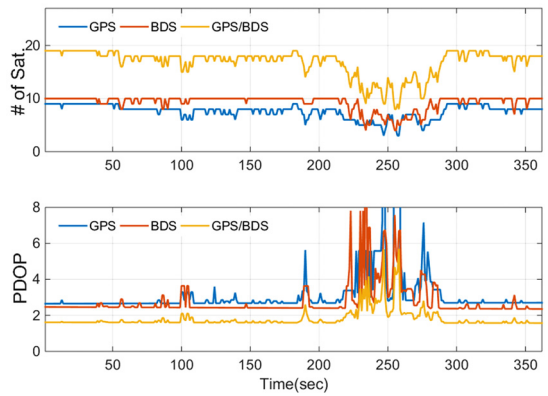


Fig. 14 Number of available satellites(top) and PDOP(bottom)

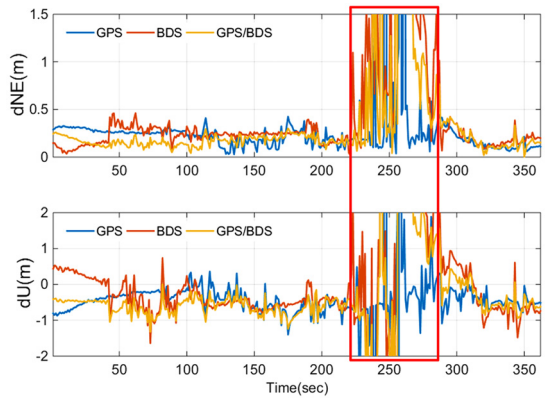


Fig. 15 Horizontal errors(top) and vertical errors(bottom)

Table 5 RMSE values in complex test trajectory

DGNSS	RMSE(m)			DRMS (65%)	2DRMS (95%)
	E	N	U		
GPS Only	0.11	0.10	0.32	0.15	0.31
BDS Only	0.20	0.11	0.51	0.23	0.45
GPS/BDS	0.13	0.08	0.29	0.15	0.30

하였다. GPS와 BeiDou 항법시스템은 수신환경이 비교적 양호한 저층 주거역에서 RMS 오차 50 cm(95%)이하의 위치추정이 가능함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 BeiDou 항법시스템을 이용하여 육상 교통 및 자율 주행 기술에 필요한 위치 정확도 확보 가능성에 대한 연구를 수행하였다.

이를 위해 GNSS 기준국에서 관측한 데이터를 이

용하여 BeiDou 항법시스템의 가용 위성수, 위성배치, 신호잡음비(SNR), 정밀도저하율(DOP), 위치정확도에 대한 분석을 수행하였으며, 차량 주행시험을 통해 위치정확도를 검증하였다. 주행실험은 위성수신환경에 제약이 없는 개활지와 고층건물 밀집지역이 포함된 주거지를 포함한 구간으로 구분하여 수행하였으며, 차량의 위치정확도는 네트워크 RTK 기법과 코드기반 DGNSS 후처리 결과를 비교하였다. 본 연구를 통해서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 우리나라에서 관측 가능한 BeiDou 위성은 8~11 기이며, 이는 GPS와 유사한 가용위성수이나, 위성배치가 남쪽으로 편중되어 있고, SNR이 GPS에 비해 5 dB-Hz 낮은 40~50 dB-Hz범위에 있어 GPS보다 가용성이 낮은 것으로 확인되었다.
- 2) 주행실험 결과 위성신호 수신환경이 양호한 지역에서는 BeiDou만으로 육상교통에서 요구하는 위치정확도를 확보할 수 있었다. 다만, 실험결과는 후처리 DGNSS로 실시간 적용시 시간지연 및 PRC 이상 등으로 정확도 저하가 발생할 수 있다.
- 3) BeiDou 항법시스템을 GPS와 동시에 사용하는 경우, GPS만 이용한 위치정확도를 20 %정도 향상시키는 것으로 확인되었다.

BeiDou 위성항법시스템은 20기 이상의 위성이 추가 배치될 계획이며, 신호품질 및 시스템의 안정성이 지속적으로 개선될 것으로 예상되어 GPS, GLONASS와 더불어 육상교통 및 자율주행 기술에 중요한 역할을 하게 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원 산업기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 #10052941)에 의해 수행되었습니다.

References

- 1) M. Son, E. Son, E. Lee, M. Heo and G. Nam, "Configuration of Network Based GNSS Correction System for Land Transportation Navigation," The Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol.21, No.4, pp.17-26, 2013.
- 2) Y. Son, Design of Path Planning & GPS Estimation Algorithm for Unmanned Ground Vehicle, Ph. D. Dissertation, Kookmin University, Seoul, 2008.
- 3) D. Lee, Low Cost GNSS/INS-based Land Vehicle Localization System under Urban Environments, M. S. Thesis, Hanyang University, Seoul, 2015.
- 4) B. Park, A study on Reducing Temporal and Spatial Decorrelation Effect In GNSS Augmentation System. Ph. D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, 2007.
- 5) K. Lee, J. Bak and C. Lee, "A Study on DGPS/GIS-based Vehicle Control for Safe Driving," Transactions of KSAE, Vol.21, No.5, pp.54-58, 2013.
- 6) S. Moon, S. Lee, J. Kim and B. Kim, "Detecting Lane Departure Based on GIS Using DGPS," Transactions of KSAE, Vol.20, No.4, pp.16-24, 2012.
- 7) K. Ko and W. Choi, "A Study on the Navigation Signal Characteristics of China BeiDou Satellite Navigation System," Journal of Korea Institute of Information Communication Engineering, Vol.19, No.10, pp.1951-1958, 2015.
- 8) BeiDou Navigation Satellite System Website, <http://beidou.gov.cn>, 2017.
- 9) P. Misra and P. Enge, Global Positioning System : Signals, Measurements, and Performance, Revised 2nd Edn., Ganga-Jamuna Press, Lincoln, 2012.
- 10) H. Caojun, Z. Jing, Z. Chen, L. Boshi and X. Dekui, "Beidou-GPS Integrated Dual-system with Multi-satellite for Positioning and Navigation Farm Vehicle," International Journal Agricultural & Biological Engineering, Vol.8, No.5, pp.79-84, 2015.
- 11) K. Seo, Y. Kim, W. Jang and S. Park, "Method of BeiDou Pseudorange Correction for Multi-GNSS Augmentation System," Journal of Korea Institute of Information Communication Engineering, Vol.19, No.10, pp.2307-2314, 2015.