

BeiDou를 이용한 도심 및 임야 지역에서의 Network RTK 측위 개선 방안 연구

이원종¹ · 유원석^{1*} · 최윤수² · 윤하수³

¹서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정

²서울시립대학교 공간정보공학과 교수

³서울시립대학교 공간정보공학과 연구교수

Improvement of Network RTK Positioning in Urban and Forest Land Using BeiDou

Won-Jong Lee¹ · Won-Seok Yu^{1*} · Yun-Soo Choi¹ · Ha-Su Yoon¹

¹Doctor's Course, Department of Geoinformatics, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

³Research Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

[요약]

본 연구에서는 도심 및 임야 지역에서 발생하는 GNSS 신호의 성능 저하를 보완하기 위하여 보조 센서 이외에 GPS, GLONASS 위성에 BeiDou 위성을 결합한 다중 위성항법시스템이 얼마나 위치정확도가 향상되는지에 대해 연구하였다. 이를 위해 도심 및 임야지역에서 Total Station(T/S)을 이용하여 각 측량 지점마다 위치정보(N, E, H)를 취득한 후에 Network-RTK 측량을 통해 얻은 측량 결과값을 비교·분석하였다. Network-RTK 측량은 동일지점에 대해 GPS, GLONASS 조합, GPS, GLOASS, BeiDou 조합으로 2번 측량하였으며, 비교·분석 결과 BeiDou를 결합한 경우 수평 위치 및 수직 위치의 정확도가 향상되었음을 알 수 있었다. 이는 BeiDou 위성의 신호강도가 GPS 보다 안정적이고 연속적인 신호를 받을 수 있으며 BeiDou 위성의 투과율이 GPS나 GLONASS에 비해 좋기 때문으로 판단된다. 따라서 향후 자율주행자동차, 스마트건설 등 고정밀 위치정보가 필요한 다양한 분야에서 Beidou, Galileo 등의 위성을 결합한 다중 위성항법시스템이 필요할 것으로 판단된다.

[Abstract]

The study studied how multi-constellation GNSS system that combine BeiDou satellites with GPS and GLONASS satellites without auxiliary sensors, improve location accuracy in order to compensate for the poor performance of GNSS signals generated in urban and forest land. To this end, the location information (N, E, H) was acquired for each survey point using the Total Station (T/S) in the urban and forest land, and the survey results obtained from the Network-RTK survey were compared and analyzed. The Network-RTK survey was measured twice at the same point with a combination of GPS, GLONASS and GPS, GLOAS, BeiDou and the results of comparison and analysis showed that the accuracy of horizontal and vertical positions improved when BeiDou was combined. This is because the signal strength of the BeiDou satellite can receive more stable and continuous signals than GPS or GLONASS, and the BeiDou satellite has better transmission than GPS or GLONASS. Therefore, in the future, it is believed that a multi-constellation GNSS system that combines satellites such as Beidou and Galileo will be needed in various areas that require high-precision location information such as autonomous vehicles and smart construction.

색인어 : BeiDou, GNSS, Network-RTK, 위치정확도, 도심 및 임야지역

Key word : BeiDou, GNSS, Network-RTK, Positioning Accuracy, Urban and Forest Land

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.11.2057>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 26 October 2020; Revised 13 November 2020

Accepted 13 November 2020

*Corresponding Author; Won-Seok Yu

Tel: +82-2-6490-5588

E-mail: wonseokyu@naver.com

I. 서론

1-1 연구배경 및 목적

오늘날 GPS(Global Positioning System, 미국), GLONASS (GLObal Navigation Satellite System, 러시아), BeiDou(중국), Galileo(유럽) 등 다양한 GNSS(Global Navigation Satellite System)기반 위성측위기술의 발달로 다양한 분야에서 향상된 측지 및 측량기술을 통해 정밀하고 신속하게 위치를 결정할 수 있게 되었으며, 데이터의 획득 및 처리시간 단축 등 측량의 정확성과 효율성이 크게 향상되었다.

하지만 GNSS는 주변 수신환경과 위성 수 등에 따라 위치정확도가 달라지기 때문에 시간 경과에 따른 주변 지형·지물의 변화가 적고 위성신호 수신 조건이 양호한 지역에 설치되어야 한다. 그리고 도심 및 임야 지역에서는 개활지(open-sky)에 비해 다중경로 오차를 유발할 수 있는 반사체들이 관측 환경 주변에 많이 위치하고 있어 이를 고려한 측위 시스템 개선이 필요하다[1].

그리고 GNSS를 활용하여 안정성 및 정확도 확보와 활용 범위를 확대하기 위해서는 충분한 수의 가시 위성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 가시 위성 개수가 부족한 경우 측위 성능 저하를 초래할 뿐만 아니라 정상적으로 측위를 수행할 수 없는 상황이 발생할 수 있기 때문이다. 이러한 문제점은 여러 위성항법시스템을 통합 활용하는 다중 위성항법시스템(Multi-GNSS) 기반의 측위를 통해 보완할 수 있다. 이러한 시스템을 통합하여 측위에 적용할 경우 단일 시스템을 활용하는 것과 비교하여 많은 수의 가용 위성이 확보되므로, 주변 지형지물에 의해 일부 위성 신호의 차폐가 발생하는 환경에서도 안정적인 측위 수행이 가능하다. GNSS 단독측위와 비교할 때 다중 위성항법시스템의 가장 큰 이점은 위성 수의 증가로 인한 위성과 수신기 사이의 기하강도 향상에 따른 위치결정의 불확실성 감소와 장애물 등에 의한 위성신호의 차폐로 야기되는 측위 불가능을 해결할 수 있다는 것이다[2].

또한 최근 국토지리정보원에서는 기존의 GPS와 GLONASS 시스템에서 BeiDou, Galileo을 추가하여 전국 위성기준점을 새로운 위성항법 신호가 수신되는 안테나와 수신기로 교체하기로 밝혔다. 따라서 수신기 교체에 따른 Network-RTK 서비스의 안정성 점검 및 정확도 검증이 필요한 시점이 되었다.

이에 본 연구에서는 도심 및 임야 지역(음영 지역)에서 발생하는 GNSS 신호의 성능 저하를 보완하기 위하여 보조 센서 이외에 GPS, GLONASS 위성에 BeiDou 위성을 결합한 다중위성 위성항법시스템을 이용하여 음영지역에서의 위치정확도를 향상시키기 위한 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 도심 및 임야 지역에서 Network-RTK 측량을 통해 위치데이터를 취득하고 Total Station(T/S)을 이용하여 취득한 위치데이터와 비교하여 측량의 정확도를 분석하였다.

1-2 연구 동향

문헌 [3]에서는 BeiDou 항법시스템을 이용하여 육상 교통 및 자율 주행 기술에 필요한 위치 정확도 확보 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 GNSS 기준국에서 관측한 데이터를 이용하여 BeiDou 항법시스템의 가용 위성수, 위성배치, 신호잡음비(SNR), 정밀도저하율(DOP), 위치정확도에 대한 분석을 수행하였으며, 차량 주행시험을 통해 위치정확도를 검증하였다. 주행시험은 위성수신환경에 제약이 없는 개활지와 고층건물 밀집지역이 포함된 주거지를 포함한 구간으로 구분하여 수행하였으며, 차량의 위치정확도는 네트워크 RTK 기법과 코드기반 DGNSS 후처리 결과를 비교하였다. BeiDou 항법시스템을 GPS와 동시에 사용하는 경우, GPS만 이용한 위치정확도를 20% 정도 향상시키는 것을 확인하였다.

문헌 [4]에서는 GPS, GLONASS 그리고 BeiDou 통합측위 시 좌표계, 시간계 등 고려해야 할 사항에 대해 고찰하였다. 그리고 개활지와 난수신환경을 구분하여 저가형 수신기를 이용한 의사거리 기반 절대측위 정확도를 평가하였다. 개활지에서 각 위성시스템 단독 측위는 GPS의 성능이 가장 우수하였고 조합을 통해 정확도의 증가를 확인하였다. 난수신환경에서 결합 측위는 정확도 향상뿐만 아니라 위치해의 연속성 확보에 영향을 미치는 것을 인지할 수 있었다.

문헌 [5]에서는 국토지리정보원 상시관측소의 다중 위성시스템 관련 현황을 파악하고 GPS와 GLONASS의 조합과 GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou 그리고 QZSS를 조합한 반송파 기반 상대측위를 수행하였다. 모든 GNSS 시스템 결합은 5대 이상의 가용 위성 증가, PDOP는 2 감소, 0.5 ~ 1.0 m 수준의 측위 정밀도 향상 그리고 위치해 취득 가능 지역이 확장되는 것으로 실험 결과를 평가하였다. 이를 바탕으로 측위 성능 개선을 위한 위성측량 국가 인프라의 고도화 방향과 기대효과를 제시하였다.

문헌 [6]에서는 BeiDou 시스템의 신호 구조, 신호 특성, 항법 메시지 특성을 토대로 BeiDou 신호 체계를 분석하고 BeiDou 위성에서 방송하는 파라미터들을 이용하여 위치를 추정하는 BeiDou 항법 알고리즘을 분석하였다. 동적 환경 테스트를 수행한 결과 숲 및 건물에 의한 신호단절과 왜곡 현상이 GPS보다 BeiDou 단독 항법에서 적게 나타났으며, GPS/BeiDou 통합항법 수행 시 기존 GPS 단일 항법을 수행할 때보다 더 높은 성능을 기대할 수 있다고 판단하였다.

이러한 선행연구를 분석한 결과 기존 GPS와 GLONASS에 BeiDou 위성을 결합한 논문은 다수 있었지만 대부분 네트워크 RTK끼리 비교하였다. 따라서 본 연구에서는 T/S로 측량을 하여 각 점의 위치를 산출하여 참값으로 가정하고 이를 GPS, GLONASS 조합과 GPS, GLONASS, BeiDou 조합을 이용하여 측량한 Network-RTK 측량결과와 비교하여 연구결과를 산출하고 BeiDou를 포함한 다중 위성항법시스템이 얼마나 더 정확한지 알아보하고자 하였다.

II. 이론적 배경

2-1 BeiDou 위성 시스템(BDS, BeiDou Navigation Satellite System)

중국은 1994년 독자적인 위성항법시스템 개발을 위한 전략을 수립하였으며, 2000년~2020년까지 3단계로 BDS를 구축 중에 있다. 1단계는 3기의 정지위성을 배치하고, 지상 제어국 및 기준국을 구축하여 시험운영을 마쳤다[7]. 2단계는 14기의 위성으로 아시아 지역에 서비스를 제공하고, 3단계는 35기 이상의 위성을 배치하여 지구 전역에 위치, 속도, 시각정보 서비스를 계획하고 있으며 자세한 내용은 표 1과 같다.

표 1. Beidou 위성 시스템의 발전계획
Table 1. Development plan of BeiDou Navigation Satellite System

	1st stage	2st stage	3st stage
Period	2000~2003	2004~2012	2013~2020
Number of Satellite	3 (3GEO)	14 (5GEO, 5IGSO, 4MEO)	30 (5GEO, 3IGSO, 24MEO)
Main function	Positioning	Positioning, Velocity, Time	Positioning, Velocity, Time
Service Area	China	Asia-Pacific	Global
Accuracy (P, V, T)	20m, -, 100ns	10m, 0.2m/s, 50ns	10m, 0.2m/s, 50ns

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°, 80°, 110.5°, 140°, 160°에 각각 위치하고 있으며 고도는 35,786 km이다. 경사정지궤도위성은 지상에서 매일 동일한 궤적을 관측할 수 있도록 설계되어 있으며, 55°의 궤도경사면을 가지고 있다[8].

그리고 BeiDou는 위성위치 계산에 필요한 파라미터를 GPS와 동일하게 제공하고 있어 GLONASS에 비해 Multi-GNSS 구현이 용이하다[9].

2-2 Network-RTK

GPS에 의한 이동 측량의 위치결정은 정지측량과 같이 후처리에 의한 방법과 실시간에 의한 처리방법이 있다. 이중 실시간으로 관측데이터를 처리하여 위치를 결정하는 방법을 GPS-RTK 라고 한다. 그러나 RTK는 기준국과의 거리에 비하여 정확도가 떨어지는 거리 의존 오차를 가지고 있으며 이를 보정, 모델링하여 광범위한 지역에서도 정밀한 위치결정을 할 수 있도록 도입된 개념이 바로 Network-RTK 측위기법이다.

Network-RTK는 GNSS 수신기를 영구적으로 설치하여 24시간 연속적으로 관측한 위성데이터를 중앙처리컴퓨터(서버)에 송신하는 수신기들로 구성된 망을 말한다. 중앙서버에서는 이

들 RTK 망에서 송신된 위성 관측자료를 근거로 하여 RTK 보정값을 생성하고 이들을 이동국에 송신하여 정밀한 이동국의 위치를 실시간으로 결정하도록 한다[10].

그리고 기준국과 사용자 간의 거리가 가까울 경우, 즉 기선거리가 짧은 경우에는 기준국에 대한 주요 측위 오차 요인 대부분이 사용자 위치에서도 각 성분별로 유사한 크기를 갖는다. 이 경우 이론상 정수(integer)의 참값을 갖는 모호정수를 정확하게 결정할 수 있으며, 이를 통해 기준국 주변의 사용자에게 고성능의 측위 결과를 제공할 수 있다. 그러나 기선거리가 길어질수록 기준국 및 사용자 위치에서의 오차 요소 간 상관성이 상실되며, 그로 인해 관측치 차분 과정 이후 발생하는 잔여 오차에 의한 측위 정확도 저하가 발생한다. 따라서 일정 수준 이상의 측위 정확도 확보를 위한 사용자의 위치는 단일기준국에 대해 대략 10~20 km 이내로 제한된다[11, 12].

III. 다중위성군을 이용한 도심 및 임야 지역의 측위 정확도 분석 실험

3-1 실험개요

GNSS 데이터의 획득 및 처리시간 단축 등 측량의 정확성과 효율성이 크게 향상되었으며, GNSS 측위 정확도를 향상시키기 위해서는 충분한 수의 가시 위성을 확보하는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 GPS, GLONASS 및 BeiDou 위성을 결합한 다중위성군을 이용한다면 도심 및 임야 지역에서 측위정확도가 얼마나 개선되는가를 살펴보고자 그림 1과 같이 실험을 진행하였다.

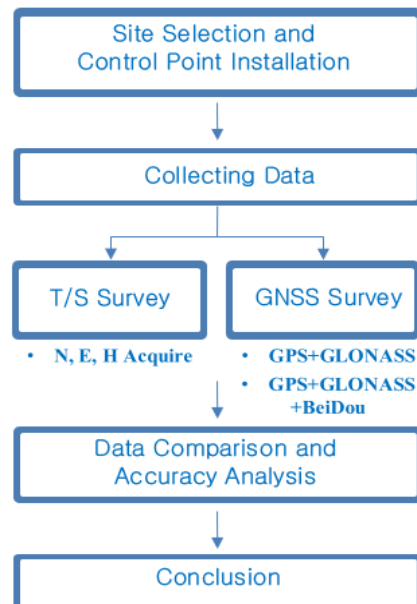


그림 1. 연구흐름도
Fig. 1. Flow Chart

이를 위하여 다음 그림 2와 같이 임야지역과 도심지역으로 볼 수 있는 등산로와 건물이 공존하는 지역으로 선정하였다. 이 지역은 개활지가 아닌 수목이나 건물 등으로 인한 멀티패스가 일어나서 위치정확도가 떨어지는 지역이므로 본 연구에 적합하다고 판단하였다.

그리고 T/S로 측량하기 위해 기준점 2개를 선점하여 8시간 동안 Static 측량을 수행하고 학술용 소프트웨어인 Bernese로 위치를 산출하였다. 그리고 T/S와 3개의 서로 다른 제조사의 RTK 장비(R8S, GR1, GG04)를 이용하여 위치를 산출하여 정확도를 분석하는 실험을 수행하였다. 이때 Network-RTK 관측은 GPS, GLONASS 조합과 GPS, GLONASS, BeiDou 조합으로 동일 지점을 2번 측량하였으며 그 결과를 참값이라고 가정할 수 있는 T/S 결과값과 비교하였다. 또한 위치정확도 비교 뿐 아니라 위성 수가 많아짐에 따라 위치정확도가 얼마나 향상되는지 알아보았다.

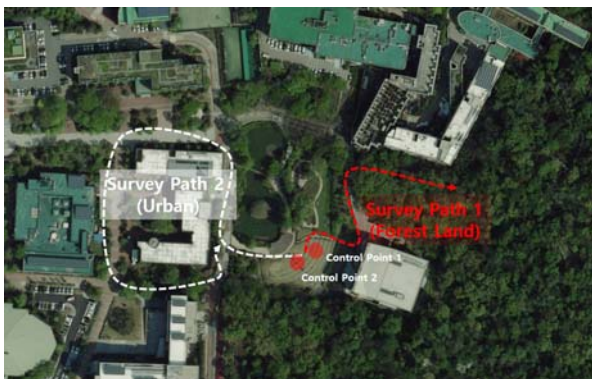


그림 2. 실험대상 지역(서울시립대학교)
Fig. 2. Study Area(University of Seoul)

실험경로는 다음과 같이 두 가지로 나누어 수행하였는데 경로 1은 기준점으로부터 등산로 중반부까지로 수목이 많아 멀티패스가 많으며, 경로 2는 건물 주변으로 건물과 가로수 등으로 인한 멀티패스가 개활지에 비해 많다. 이렇게 설정된 경로에 대해 기준점으로부터 T/S 측량과 Network-RTK 측량을 수행하였다.

3-2 실험

본 연구는 임야지역과 도심지역에 대해 BeiDou를 결합한 다중 위성항법시스템이 기존의 GPS, GLONASS 조합에 비해 얼마나 측위방법이 얼마나 더 개선되는가에 대해 알아보기 위한 연구로 임야지역 18점(경로 1), 도심지역 27점(경로 2)을 T/S와 Network-RTK 측량을 수행하였다.

먼저 비교를 위해 각 측량 지점에 대해 T/S로 관측 후 N(X), E(Y), H(높이) 값을 취득하였으며 다음 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 2. T/S 측량 결과 (단위 : m)
Table 2. T/S Survey Result (Unit : m)

Division	N(X)	E(Y)	H
C.P 1	553779.370	205468.193	58.978
F.L 1	553789.581	205488.428	61.938
F.L 2	553787.787	205501.106	64.414
F.L 3	553797.602	205502.374	64.237
F.L 4	553805.045	205507.500	64.130
F.L 5	553806.173	205501.357	63.783
F.L 6	553812.676	205505.606	64.010
F.L 7	553822.351	205503.036	63.886
F.L 8	553823.235	205497.481	63.634
F.L 9	553830.322	205502.043	63.745
F.L 10	553828.422	205508.861	65.263
F.L 11	553827.969	205514.209	65.974
F.L 12	553818.900	205525.230	67.404
F.L 13	553827.639	205517.700	66.615
F.L 14	553825.249	205529.318	67.441
F.L 15	553822.728	205535.558	68.663
F.L 16	553816.925	205546.583	71.444
F.L 17	553815.673	205556.870	73.247
F.L 18	553810.780	205565.804	73.955
C.P 2	553779.899	205439.737	57.619
Urban 1	553781.193	205432.895	57.223
Urban 2	553784.167	205422.209	56.669
Urban 3	553794.733	205421.269	56.414
Urban 4	553769.766	205413.228	57.185
Urban 5	553759.564	205408.289	57.136
Urban 6	553792.391	205416.096	56.519
Urban 7	553806.753	205417.306	56.238
Urban 8	553820.773	205422.568	56.257
Urban 9	553825.943	205418.258	56.149
Urban 10	553846.225	205422.773	56.200
Urban 11	553836.923	205418.130	56.336
Urban 12	553846.730	205417.552	56.370
Urban 13	553850.652	205413.951	56.282
Urban 14	553850.518	205401.969	56.256
Urban 15	553850.128	205385.924	55.814
Urban 16	553850.026	205375.885	55.828
Urban 17	553849.476	205360.819	55.356
Urban 18	553846.240	205353.348	55.350
Urban 19	553832.068	205352.266	54.705
Urban 20	553820.439	205352.108	54.349
Urban 21	553805.069	205351.312	54.250
Urban 22	553792.039	205350.675	53.787
Urban 23	553778.585	205349.889	52.625
Urban 24	553757.576	205363.932	53.158
Urban 25	553757.998	205350.321	51.921
Urban 26	553756.328	205382.511	54.939
Urban 27	553759.719	205393.315	55.980

다음 표 3에서 5까지는 서로 다른 제조사의 RTK 장비를 이용하여 취득된 결과값이다. 이 때 RTK 측량은 GPS, GLONASS 조합과 GPS, GLONASS, BeiDou 조합으로 동일 지점을 2번 측량하였으며, N(X), E(Y), H(높이) 값 외에 위성 수 정보를 추가로 취득하였다. 이를 통해 충분한 수의 가시 위성을 확보하는 것이 얼마나 GNSS 측위 정확도를 향상시키는지에 대해 살펴보았다.

표 3에서 5까지 알 수 있듯이 GPS, GLONASS 조합은 임야 지역에서 나무로 인해 GNSS 위성 신호를 받지 못해 위치정보 취득이 어려웠으나, GPS, GLONASS, BeiDou 조합은 위성 수가 많아서 개활지에 비해 정확하지는 않았지만 어느 정도의 정확도를 가진 위치정보를 획득할 수 있었다.

표 4. RTK 측량 결과(R8S) (단위 : m)

Table 4. RTK Survey Result(R8S) (Unit : m)

Division	GPS + GLONASS +BeiDou				GPS + GLONASS			
	N(X)	E(Y)	H	No. of satellites	N(X)	E(Y)	H	No. of satellites
C.P 1	553779.374	205468.196	58.951	26	553779.368	205468.156	58.996	11
F.L 1	553789.600	205488.424	61.875	27	553789.591	205488.398	61.929	12
F.L 2	553787.790	205501.089	64.463	24	553787.781	205501.097	64.435	8
F.L 3	553797.594	205502.401	64.218	23	553797.578	205502.364	64.268	11
F.L 4	553805.019	205507.525	64.132	26	553805.019	205507.500	64.166	10
F.L 5	553806.215	205501.365	63.833	27	553806.209	205501.362	63.827	9
F.L 6	553812.666	205505.663	63.879	26	-	-	-	-
F.L 7	553822.321	205503.033	64.301	26	553822.306	205503.011	63.963	8
F.L 8	553823.233	205497.498	63.622	24	553823.153	205497.444	63.647	13
F.L 9	553830.303	205502.030	63.749	24	553830.311	205502.000	63.777	12
F.L 10	553828.456	205508.911	65.223	25	553828.456	205508.756	65.707	9
F.L 11	553827.972	205514.195	65.995	22	-	-	-	-
F.L 12	553818.877	205525.753	70.098	24	553818.537	205524.493	71.181	11
F.L 13	553827.626	205517.660	66.719	23	-	-	-	-
F.L 14	553824.752	205529.157	77.389	22	-	-	-	-
F.L 15	553822.657	205535.992	70.747	24	553822.562	205534.497	71.306	11
F.L 16	553816.413	205546.035	78.237	24	553816.903	205546.578	71.612	12
F.L 17	553815.716	205556.908	73.367	24	553815.601	205556.285	76.183	8
F.L 18	553810.762	205565.852	74.105	23	553810.364	205565.889	77.873	12
C.P 2	553779.885	205439.723	57.601	27	553779.870	205439.729	57.581	13
Urban 1	553781.767	205433.168	58.452	26	553781.164	205432.889	57.120	11
Urban 2	553784.163	205422.218	56.643	26	553784.156	205422.209	56.602	9
Urban 3	553794.722	205421.278	56.397	26	553794.726	205421.292	56.456	8
Urban 4	553769.743	205413.234	57.141	24	553769.680	205413.374	57.113	13
Urban 5	553759.513	205408.301	57.131	27	553758.903	205408.914	60.068	10
Urban 6	553792.404	205416.128	56.501	22	553792.365	205416.095	56.545	10
Urban 7	553806.752	205417.320	56.239	20	553806.768	205417.361	56.305	8
Urban 8	553820.762	205422.561	56.248	28	553820.687	205422.615	56.371	13
Urban 9	553825.934	205418.265	56.164	24	553825.909	205418.253	56.144	10
Urban 10	553846.180	205422.759	56.178	28	553846.134	205422.626	56.392	9
Urban 11	553836.936	205418.079	56.244	18	553836.249	205418.612	57.391	13
Urban 12	553846.661	205417.514	56.309	23	553846.608	205417.459	56.518	12
Urban 13	553850.623	205413.929	56.247	22	553850.711	205413.754	56.658	13
Urban 14	553850.497	205401.963	56.010	18	553850.101	205401.723	59.364	11
Urban 15	553850.381	205386.167	56.736	20	553850.669	205385.121	56.180	9
Urban 16	553850.671	205376.272	57.118	17	553850.393	205375.869	56.690	12
Urban 17	553849.309	205361.098	56.839	22	553849.279	205360.971	55.050	8
Urban 18	553846.221	205353.504	56.005	29	553846.291	205353.332	55.220	12
Urban 19	553832.115	205352.235	54.555	29	553832.136	205352.239	54.558	11
Urban 20	553820.496	205352.074	54.186	29	553820.478	205352.057	54.156	8
Urban 21	553805.713	205351.224	54.726	25	553805.121	205351.269	54.105	10
Urban 22	553792.105	205350.646	53.623	26	553791.898	205350.603	55.893	9
Urban 23	553778.625	205349.794	52.564	27	553778.643	205349.831	52.508	13
Urban 24	553758.060	205363.805	53.064	26	553758.032	205363.612	56.000	9
Urban 25	553757.571	205350.252	51.724	26	553757.605	205350.217	51.810	9
Urban 26	553754.080	205381.527	58.419	20	553756.888	205382.275	56.975	11
Urban 27	553759.511	205393.125	56.973	22	553759.715	205392.351	58.511	10

표 5. RTK 측량 결과(GG04) (단위 : m)

Table 5. RTK Survey Result(GG04) (Unit : m)

Division	GPS + GLONASS +BeiDou				GPS + GLONASS			
	N(X)	E(Y)	H	No. of satellites	N(X)	E(Y)	H	No. of satellites
C.P 1	553779.377	205468.190	58.894	24	553779.375	205468.190	58.884	12
F.L 1	553789.596	205488.423	61.808	23	553789.592	205488.416	61.790	9
F.L 2	553787.772	205501.117	64.359	21	553787.783	205501.119	64.309	12
F.L 3	-	-	-	-	-	-	-	-
F.L 4	553805.014	205507.515	64.075	24	553805.008	205507.502	64.084	11
F.L 5	553806.209	205501.362	63.769	28	-	-	-	-
F.L 6	553812.668	205505.616	63.906	27	553812.641	205505.610	63.935	12
F.L 7	553822.313	205503.020	63.847	24	553822.313	205503.001	63.870	12
F.L 8	553823.230	205497.515	63.582	23	553823.216	205497.520	63.569	10
F.L 9	553830.308	205502.027	63.698	23	553830.338	205502.040	63.655	10
F.L 10	553828.416	205508.891	65.187	24	-	-	-	-
F.L 11	553827.957	205514.240	65.933	25	553827.823	205514.639	66.376	12
F.L 12	553818.919	205525.267	67.404	21	553819.104	205525.514	67.362	12
F.L 13	553827.657	205517.713	66.579	23	-	-	-	-
F.L 14	553825.317	205529.358	67.326	21	-	-	-	-
F.L 15	553822.696	205535.453	68.543	22	-	-	-	-
F.L 16	553816.942	205546.639	71.429	23	553816.758	205546.877	71.907	13
F.L 17	553815.706	205556.917	73.175	25	-	-	-	-
F.L 18	553810.818	205565.840	73.889	23	553810.839	205565.873	73.797	12
C.P 2	553779.893	205439.719	57.538	29	553779.888	205439.719	57.474	11
Urban 1	553781.181	205432.876	57.107	27	553781.169	205432.872	57.093	11
Urban 2	553784.163	205422.195	56.558	28	553784.157	205422.210	56.524	12
Urban 3	553794.720	205421.258	56.325	22	553794.736	205421.244	56.280	13
Urban 4	553769.743	205413.246	57.071	28	553769.756	205413.234	57.066	13
Urban 5	553759.529	205408.303	57.029	22	553759.540	205408.300	57.021	12
Urban 6	553792.393	205416.106	56.370	25	553792.328	205416.167	56.624	13
Urban 7	553806.767	205417.323	56.066	23	553806.753	205417.321	56.122	11
Urban 8	553820.765	205422.533	56.132	26	553820.762	205422.548	56.165	12
Urban 9	553825.930	205418.238	56.070	25	553825.941	205418.234	56.039	13
Urban 10	553846.203	205422.765	56.063	28	553846.188	205422.735	56.068	10
Urban 11	553836.904	205418.113	56.235	17	553836.908	205418.120	56.120	10
Urban 12	553846.710	205417.522	56.247	23	553846.771	205417.596	56.222	10
Urban 13	553850.627	205413.927	56.168	22	553850.722	205414.030	56.091	13
Urban 14	553850.516	205401.956	56.054	19	553850.603	205402.083	56.007	11
Urban 15	553850.121	205385.900	55.549	19	553850.302	205386.002	55.698	10
Urban 16	553850.095	205375.864	55.602	19	553850.322	205376.014	55.828	12
Urban 17	553849.536	205360.799	55.161	22	553849.496	205360.778	55.179	8
Urban 18	553846.280	205353.313	55.122	25	553846.269	205353.306	55.119	11
Urban 19	553832.104	205352.222	54.509	28	553832.104	205352.194	54.487	10
Urban 20	553820.478	205352.053	54.133	28	553820.472	205352.045	54.069	9
Urban 21	553805.114	205351.268	54.030	26	553805.124	205351.276	54.025	10
Urban 22	553792.083	205350.621	53.549	24	553792.098	205350.629	53.514	8
Urban 23	553778.637	205349.811	52.417	26	553778.689	205349.817	52.389	12
Urban 24	553758.046	205350.204	51.732	28	553757.603	205350.206	52.960	9
Urban 25	553757.609	205363.823	52.939	27	553758.050	205363.819	51.664	12
Urban 26	553756.328	205382.389	54.691	20	553756.337	205382.393	54.808	9
Urban 27	553759.660	205393.209	55.755	21	-	-	-	-

3-3 측위정확도 분석

측위정확도 분석을 위해 각각의 측량 지점마다 T/S로 취득한 값과 Network-RTK 측량으로부터 취득한 값의 차이를 구하고 RMSE(Root Mean Square Error, 평균 제곱근 오차)를 도출하였다.

먼저 GR1 장비를 이용한 측량 결과는 다음 표 6과 같다. BeiDou를 이용했을 때 전체적으로 N, E, H에 대한 RMSE가 각각 0.296 cm, 0.384 cm, 1.389 cm 향상되었으며, 임야지역에서는 각각 0.804 cm, 0.2396, 2.551 cm 향상되었고 도심지에서는 각각 0.215 cm, 0.527 cm, 1.858 cm 향상되었다.

표 6. GR1에 대한 RMSE (단위 : cm)

Table 6. RMSE about GR1 (Unit : cm)

Division	GPS + GLONASS +BeiDou			GPS + GLONASS		
	N(X)	E(Y)	H	N(X)	E(Y)	H
Total	3.514	4.678	9.074	3.810	5.062	10.463
Forest Land	2.884	2.513	5.281	3.688	4.909	7.832
Urban	3.794	5.244	10.301	4.009	5.771	12.159

다음으로 R8S 장비를 이용한 측량 결과는 다음 표 7과 같다. BeiDou를 이용했을 때 전체적으로 N, E, H에 대한 RMSE가 각각 9.415 cm, 5.924 cm, 5.008 cm 향상되었으며, 임야지역에서는 각각 0.397 cm, 10.077 cm, 11.510 cm 향상되었고 도심지에서는 각각 16.676 cm, 4.160 cm, 4.086 cm 향상되었다. R8S 장비를 이용할 경우 특히 정확도가 낮게 나왔는데 그 이유로 다른 장비에 비해 임야지역에서 더 많은 지점이 취득되었으나 그만큼 부정확한 값이 취득된 것으로 판단된다.

표 7. R8S에 대한 RMSE (단위 : cm)

Table 7. RMSE about R8S (Unit : cm)

Division	GPS + GLONASS +BeiDou			GPS + GLONASS		
	N(X)	E(Y)	H	N(X)	E(Y)	H
Total	6.135	4.763	14.405	15.55	10.687	19.413
Forest Land	2.505	4.453	18.019	2.902	14.530	29.529
Urban	8.468	5.321	8.645	25.144	9.481	12.731

마지막으로 GG04 장비를 이용한 측량 결과는 다음 표 8과 같다. BeiDou를 이용했을 때 전체적으로 N, E, H에 대한 RMSE가 각각 1.277 cm, 2.451 cm, 10.882 cm 향상되었으며, 임야지역에서는 각각 6.645 cm, 14.265 cm, 13.225 cm 향상되었고 도심지에서는 각각 4.2436 cm, 0.708 cm, 19.817 cm 향상되었다.

표 8. GG04에 대한 RMSE (단위 : cm)

Table 8. RMSE about GG04 (Unit : cm)

Division	GPS + GLONASS +BeiDou			GPS + GLONASS		
	N(X)	E(Y)	H	N(X)	E(Y)	H
Total	8.203	28.393	29.32	9.480	30.844	18.438
Forest Land	2.846	3.821	7.134	9.491	18.086	20.359
Urban	7.922	37.05	17.975	12.165	37.758	37.792

현재 공공측량 작업규정에서 GNSS 측량을 통한 위치정확도는 수평위치 ± 10 cm, 수직위치 ± 20 cm로 규정하고 있어 일부 성과는 신뢰할 수 없다고 판단된다. 하지만 BeiDou와 결합 위

성의 경우 정확도는 모든 지점에서 신뢰할 수는 없지만, GPS, GLONASS 조합에 비해 측위 정확도가 향상되었다. 그 이유는 BeiDou 위성의 신호강도가 GPS 보다 안정적이고 연속적인 신호를 받을 수 있기 때문이며 BeiDou 투과율이 GPS나 GLONASS에 비해 좋기 때문으로 판단된다[13].

따라서 향후 측위 개선방안 연구를 통해 자율주행자동차, 스마트건설 등 고정밀 위치정보가 필요한 다양한 분야에서 Beidou, Galileo 등의 위성을 결합한 다중 위성항법시스템이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 임야지역과 도심지역에 대해 BeiDou를 결합한 다중 위성항법시스템이 기존의 GPS, GLONASS 조합에 비해 얼마나 측위방법이 얼마나 개선되는가에 대해 알아보았다. 이를 위해 각각의 측량 지점마다 T/S로 취득한 값과 Network-RTK를 이용하여 취득한 값을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 더 많은 위성군을 사용할수록 도심지 같은 GNSS 관측장애물이 많은 환경에서 보다 좋은 위치정확도를 취득할 수 있었다. 둘째, 같은 위성, 시간에 측량을 하더라도 제조사의 장비에 따라 위치정확도와 측정 가능 범위가 다르다는 것을 알 수 있었다. 이는 제조사별로 고유의 통신 모델, 보정계수 등을 가지고 있어 다른 것으로 판단된다. 마지막으로 위성의 신호강도가 안정적이고 연속적인 신호를 받을 수 있고 나뭇잎에 대한 투과율이 좋은 BeiDou를 함께 사용했을 경우 GPS, GLONASS 조합에 비해 위치정확도가 향상되는 것을 알 수 있었다. 이는 한반도 위치에 따른 BeiDou 위성의 양각이 GPS, GLONASS 위성보다 높게 위치하여 상대적으로 다중경로에 의한 간섭 및 신호 단절의 영향에 강한 특성을 가지기 때문으로 분석된다. 숲 및 건물에 의한 신호단절과 왜곡 현상이 GPS, GLONASS 보다 BeiDou에서 적게 나타났으며 GPS, GLONASS, BeiDou의 다중 위성항법시스템의 수행 시 기존 GPS, GLONASS를 이용하여 수행할 때보다 더 높은 성능을 기대할 수 있다고 판단된다. 하지만 임야지역, 도심지역 특성상 많은 관측장애물로 인해 위성 신호를 수신할 수 없는 경우에는 위치정보 획득에 여전히 많은 제약사항이 있었다. 본 연구결과를 바탕으로 향후 BeiDou, Galileo 등을 이용한 다중 위성항법시스템에 대한 측위 개선방안 연구를 진행하여 임야지역이나 도심지역과 같이 관측장애물이 많은 환경에서 멀티패스 등으로 인한 측위 정확도의 개선 방안 연구가 필요할 것으로 판단하였다.

감사의 글

본 연구는 국토과학기술진흥원의 “자율주행 지원을 위한 도로변화 신속탐지, 갱신 기술 개발 및 실증 (20NSIP-B145093-03)” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] S. H. Kim, Development of Single-Frequency Real-Time Kinematic Positioning Algorithm for Multi-Constellation GNSS and Its Performance Validation in the Medium/Long-Range Baseline Cases, MS dissertation, Inha University, 2018.

[2] B. K Choi, C. H Cho and S. J. Lee, “Combined GPS/BeiDou positioning performance in South Korea”, The Journal of Positioning, Navigation, and Timing, Vol. 3, No. 4, pp.149-154, 2014.

[3] J. M. Lee, K. D. Park and W. S. Jeong, “Analysis of Positioning Accuracy for DGNSS-based Land Navigation Using GPS/BDS Navigation Satellite System”, Journal of the Transactions of the Korean Society Automotive Engineers, Vol. 25, No. 4, 2017.

[4] W. H. Tae, H. I. Kim and K. D. Park, “Analysis of Multi-Differential GNSS Positioning Accuracy in Various Signal Reception Environments”, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, Vol. 17, No. 4, 2016.

[5] J. K. Park, D. Y. Um, “Analysis of Positioning Performance According to the Condition of Multi-constellation GNSS”, Journal of Korean Society of Industrial Engineers, Vol. 7, No. 1, 2018.

[6] Yang Y, Li J, Wang A, Xu J, He H, Guo H, Shen J, Dai X, “Preliminary assessment of the navigation and positioning performance of BeiDou regional navigation satellite system”, China Earth Sci Vol. 57, pp.144-152, 2014.

[7] Dou, J, Performance of GPS and partially deployed BeiDou for real-time kinematic positioning in Western Canada, Master’s Thesis, University of Calgary, 2015.

[8] Wang G, Jong K, Zhao Q, Hu Z, Guo J, “Multipath analysis of code measurements for BeiDou geostationary satellites”. GPS Solutions, pp129-139, 2014.

[9] B. K. Choi, J. U. Park, K. M. Roh and S. J. Lee, “Comparison of GPS receiver DCB estimation methods using a GPS network”, Earth Planets Space, Vol. 65, pp. 707-711, 2013.

[10] Cina, A.; Dabove, P.; Manzano, A.M.; Piras, M. “Network Real Time Kinematic (NRTK) Positioning-Description, Architectures and Performances”. In Satellite Positioning-Methods, Models and Applications; Jin, S., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2015.

[11] Kirkko-Jaakkola, M.; Söderholm, S.; Honkala, S.; Koivula, H.; Nyberg, S.; Kuusniemi, H. “Low-Cost Precise Positioning Using a National GNSS Network”. In Proceedings of the 28th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS), Tampa, FL, USA, 14-18, pp. 2570-2577, 2015.

[12] Erhu, W., Hua, C., and Zhiguo, A, “VRS virtual observations generation algorithm”, Journal of Global

Positioning Systems, Vol. 5, No. 1-2, pp. 76-81, 2006.

[13] Wang G, Jong K, Zhao Q, Hu Z, Guo J, “Multipath analysis of code measurements for BeiDou geostationary satellites”. GPS Solutions, pp129-139, 2014.



이원종(Won-Jong Lee)

2017년 : 서울시립대학교 대학원 (공학 석사)

2017년~현 재: 서울시립대학교 공간정보공학과 박사수료
 ※관심분야 : GNSS, 공간정보(Geospatial Information), 데이터 품질관리(Data QC) 등



유원석(Won-Seok Yu)

2015년 : 서울시립대학교 대학원 (공학 석사)

1990년~2017년: (주)한국토폴론
 2019년~현 재: (주)유스콘 대표
 2016년~현 재: 서울시립대학교 공간정보공학과 박사수료
 ※관심분야 : GNSS, 공간정보(Geospatial Information), 데이터 품질관리(Data QC) 등



최운수(Yun-Soo Choi)

1986년 : 서울시립대학교 대학원 (공학 석사)

1992년 : 성균관대학교 대학원 (공학박사-토목공학)

1991년~2001년: 국립한경대학교 토목공학과 교수
 2001년~현 재: 서울시립대학교 공간정보공학과 교수
 ※관심분야 : GNSS, 공간정보(Geospatial Information), 데이터 품질관리(Data QC) 등



윤하수(Ha-Su Yoon)

2009년 : 서울시립대학교 대학원 (공학 석사)

2015년 : 서울시립대학교 대학원 (공학박사-공간정보공학)

2016년~2019년: 한국천문연구원
 2019년~현 재: 서울시립대학교 공간정보공학과 연구교수
 ※관심분야 : GNSS, 공간정보(Geospatial Information), 데이터 품질관리(Data QC) 등