

다채널 저가 GNSS 측위 모듈기반 RTK 측량의 효용성 평가

Evaluating of the Effectiveness of RTK Surveying Performance Based on Low-cost Multi-Channel GNSS Positioning Modules

김치훈* · 오성종** · 이용창***

Kim, Chi-Hun · Oh, Seong-Jong · Lee, Yong-Chang

Abstract

According to the advancement of the GNSS satellite positioning system, the module of hardware and operation software reflecting accuracy and economical efficiency is implemented in the user sector including the multi-channel GNSS receiver, the multi-frequency external antenna and the mobile app (App) base public positioning analysis software etc., and the multichannel GNSS RTK positioning of the active configuration method (DIY, Do it yourself) is possible according to the purpose of user. Especially, as the infrastructure of multi-GNSS satellite is expanded and the potential of expansion of utilization according to various modules is highlighted, interest in the utilization of multi-channel low-cost GNSS receiver module is gradually increasing. The purpose of this study is to review the multi-channel low-cost GNSS receivers that are appearing in the mass market in various forms and to analyze the utilization plan of the "address information facility investigation project" of the Ministry of Public Administration and Security by constructing the multi-channel low-cost GNSS positioning module based RTK survey system (hereinafter referred to as "multi-channel GNSS RTK module positioning system"). For this purpose, we constructed a low-cost "multi-channel GNSS RTK module positioning system" by combining related modules such as U-blox's F9P chipset, antenna, Ntrip transmission of GNSS observation data and RTK positioning analysis app through smartphone. Kinematic positioning was performed for circular trajectories, and static positioning was performed for address information facilities. The results of comparative analysis with the Static positioning performance of the geodetic receivers were obtained with 5 fixed points in the experimental site, and the good static surveying performance was obtained with the standard deviation of average $\pm 1.2\text{cm}$. In addition, the results of the test point for the outline of the circular structure in the orthogonal image composed of the drone image analysis and the Kinematic positioning trajectory of the low cost RTK GNSS receiver showed that the trajectory was very close to the standard deviation of

* 인천대학교 도시융·복합학과 박사과정 Department of Urban Convergence Engineering, Incheon National University (first author: kch23076@inu.ac.kr)

** 인천대학교 도시융·복합학과 박사과정 Department of Urban Convergence Engineering, Incheon National University (co-author: gps@inu.ac.kr)

*** 인천대학교 도시공학과 교수 Department of Urban Engineering, Incheon National University (corresponding author: ylee@inu.ac.kr)

average $\pm 2.5\text{cm}$. Especially, as a result of applying it to address information facilities, it was possible to verify the utility of spatial information construction at low cost compared to expensive commercial geodetic receivers, so it is expected that various utilization of "multi-channel GNSS RTK module positioning system"

Keywords: Mobile App, Multi-Channel GNSS RTK Module Positioning System, Kinematic Positioning, Static Positioning

1. 서론

최근, GNSS 위성시스템의 고도화와 수신기 기술의 향상 및 응용 소프트웨어의 개발로 다양한 제원과 가격대의 GNSS 측위관련 완제품은 물론 이용자의 목적에 최적화할 수 있는 조합 가능한 모듈(module)형태도 출시되어 전 산업 분야에서 그 활용성이 증가하고 있다. 2021년, Galileo FOC(Full Operational Capability) 및 BDS(BeiDou Navigation Satellite System)-3 위성시스템의 서비스가 개선되면서 GPS, GLONASS, GALILEO, BDS, QZSS, IRNSS, SBAS 등 Multi-GNSS(Global Navigation Satellite System) 위성측위시스템의 인프라 환경이 점차 고도화되고 있다(이용창·오성종 2020).

전세계 GNSS 수신기 출하량은 2019년 18억대에서 2029년 28억대로, GNSS 시장은 향후 10년간 지속적인 성장이 예상된다. 스마트폰과 웨어러블에 사용되는 €5 미만의 수신기는 2029년까지 20억대 이상 수요가 예상된다. €5~€150 가격대의 수신기 시장은 연간6% 성장률을 나타내며 €150이상의 고급 수신기 시장은 전체 3% 미만의 비중을 차지하지만 가장 많은 부분에서 수요가 예상된다(GSA GNSS Market Report 2019). Hardin et al.(2019)과 Hodgson(2020) 등은 지도작성을 위한 정사영상 제작의 경제성 향상 방안으로 위성측위 센서를 융합한 소형 무인 항공시스템(SUAS, Small Unmanned Aerial Systems)의 효용성을 입증한 바 있다.

Williams et al.(2020) 및 Hodgson(2020) 등은 지형학, 수문학 및 식물학 분야의 모니터링 연구에서 세부적인 변화의 성공적인 시계열 분석을 위해서는 수 cm 측위 정확도가 요구됨을 입증한 바 있다.

GNSS 측위기술은 응용기술과학분야에서 일상생활 분야에 까지 사용장비 구성에 따라 다양한 정확도의 측위 정보를 제공하고 있다. 특히, 국내에서는 측지측량은 물론, 지적재조사, 국토정보 모니터링, LBS(Location Based Service), 디지털트윈 분야 및 자율주행 등 다양한 산업분야에서 활용되고 있어 각 분야에 적합한 GNSS 장비의 선정 및 구성의 효율성이 중요해지고 있다. 최근, 통신기술의 발달로 인해 저렴한 비용으로 제작된 저가형 GNSS 수신칩의 사용 저변이 확대되고 있으며, 5G 통신성능이 향상된 스마트폰과 Multi-GNSS 다채널 수신이 가능한 칩(chip)을 장착한 보드, 동글 등 성능이 개선된 다양한 OEM 제품군도 출시되고 있다. 이에 따라 저가의 Multi-GNSS 수신기와 5G 통신 성능이 향상된 스마트폰을 조합·운영하여 정확도와 경제성을 반영한 공간정보 취득 원으로 활용하는 응용사례가 측량 및 공간정보 분야에서 시도되고 있다(김치훈 외 2021). 다양한 분야에 저가형 수신기의 필요성이 확장되고 있어 점차 수요가 증가할 것으로 예상되며, 2019년 초에 200달러 이하의 L1, L2, L5를 지원하는 다양한 GNSS(GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo)위성을 수신할 수 있는 보드가 도입되었다(Hodgson 2020).

GPS의 관측방법은 절대측위와 상대측위로 구분하

며 상대측위는 정지관측, 신속정지관측, 이동측위, 의사 이동측위, 실시간 이동 측위로 나뉘어진다. 실시간 이동측위(RTK, Real Time Kinematic)에서는 기준국과 이동국 간의 거리에 의해 전리층과 대류층 효과와 같은 계통오차의 상관관계가 저하되어 적절히 제거되지 않으므로 센티미터의 정확도를 획득하기 위해 기선의 길이를 10~15km로 제한해야 한다(국토지리정보원 2003). 수년 동안 다양한 테스트를 통해 Network-RTK 솔루션이 단일 베이스라인 RTK 솔루션보다 우수하다는 것이 입증되었으며 가상기준국으로부터 실시간으로 보정을 제공하는 네트워크를 구축하고 있다(Herbert et al. 2003). 가상기준점(VRS, Virtual Reference Station)을 사용한 Network-RTK(VRS) 방식은 RTK방식에 비해 기선 길이의 제한이 적으며, 상시관측소의 데이터를 이용함에 있어 별도의 기준점 측량 없이 실시간으로 이동국의 정밀한 위치를 결정할 수 있다(노선준 외 2012).

박진솔 외 (2014)은 공공측량 및 지적재조사 사업 분야에 FKP(Flachen Korrektur Parameter) 방식의 활용성을 분석하고, 이용창·오성중(2020)은 RTCM-SSR 보정요소 기반 1주파 Multi-GNSS 실시간 측위의 효용성을 평가하였다.

저가형 다채널 수신기는 대표적으로 U-blox사의 칩셋을 기반으로 제작된 다양한 제품군이 OEM방식으로 제작되어 활용되고 있다. U-blox사의 칩셋을 기반으로 패치형 안테나, RTK 보드형 제품군, 측지형 수신기 구성 등 다양한 공간정보 취득원으로 활용 가능한 제품군이 생산되고 있다. 현재, 행정안전부 도로명 주소법 제26조, 동법 시행령 제48조 규정에 의해 매년 '주소정보시설' 관리를 위해 조사계획을 수립하고 연 1회이상 '주소정보시설'을 조사하여 적절한 조치를 하게 되어있다. 이에 따라, 지방자치단체에서는 법령 규정에 의해 도로명판, 건물번호판, 기초번호판 등 매년 조사, DB를 구축하여 관리하고 있는데 현장조사방법으로 국가주소정보시스템(Korean Address Information

System, KAIS)에 접속 가능한 휴대용 단말을 사용하여 전자지도에 표출된 '주소정보시설'의 현황을 사진 촬영 후 필요사항을 시스템에 입력하는 절차를 거친다. 그동안 진행된 휴대용 단말을 활용한 시설물 조사는 대상의 위치 정보와 위치정확도 수준관련 내용 조사가 수행되지 않아 일부 시설물의 위치오차가 존재한다. 본 연구의 목적은 다채널 저가 GNSS 측위 모듈 기반 RTK 측량시스템(이하, '다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템')을 구성하여 성능과 효용성을 검증하여 행안부에서 시행하고 있는 주소정보시설 조사사업의 적용성을 검토하는 것이다.

2. 연구방법

'다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템'의 효용성 평가 및 '주소정보시설 조사사업'의 적용성 분석을 위해 본 연구에서는 다음 3단계로 연구를 진행하였다. 첫째, 저가 GNSS 측위용 모듈을 선정한 후, 측위 모듈 간의 조합 구성을 통해 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템을 구성하였다. 둘째, 구성된 다채널 GNSS RTK 모듈 측위시스템의 정적 및 동적 측위 정확성을 검토하기 위해 상용 GNSS RTK 수신기의 측위결과 및 드론측량을 통해 구성한 정사영상 내 시설물 위치의 정확성을 비교 분석하였다. 셋째, 지방자치단체에서 매년 추진하고 있는 '주소정보시설 조사사업'의 적용성을 검토하기 위해 특정 시설물을 대상으로 측위 정확성을 비교 검증하였다.

2.1. GNSS RTK 측위 모듈 조합 구성

본 실험에서 수행하는 GNSS RTK 측위 모듈은 대중적으로 많이 활용되는 U-blox사의 ZED-F9P 칩셋을 포함한 장비 구성을 선정하였다. GNSS RTK 측위 모듈 조합 구성 방법과 절차는 Figure 1과 같다.

SimpleRTK2B-Starter Kit LR(<https://www.>

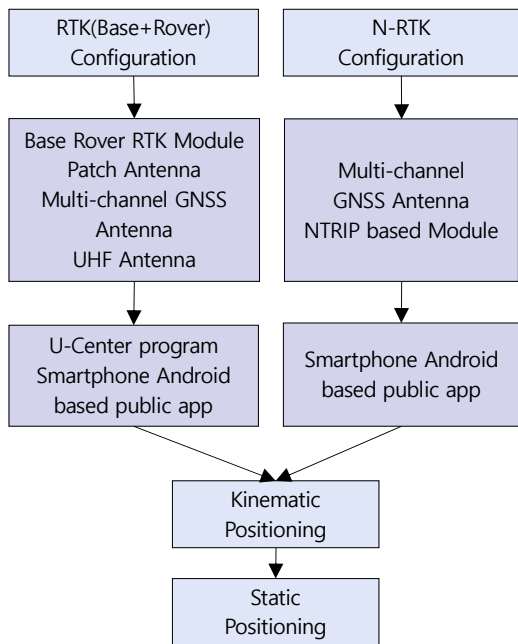


Figure 1. Configuration and procedure of the GNSS RTK positioning system based on the combination of positioning modules related to GNSS

ardusimple.com/mr-lr-kit-hookup-guide) 구성은 U-blox사의 ZED-F9P 모듈을 기반으로 제작된 저가형 이주파 RTK 장치이다. Figure 2, Table 1은 측지용 RTK 장비 구성과 유사한 기준국(Base), 이동국(Rover) 구성을 포함하고 있다. 기준국 수신자료의 이동국으로 전송이 양호한 환경에서 cm 수준의 정확성을 가진다. ZED-F9P 모듈 기반으로 구성된 보드와 XBEE 라

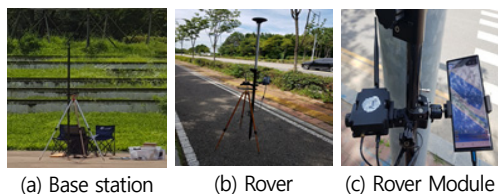


Figure 2. A low-cost multi-channel GNSS RTK positioning system constructed by combination modules

Table 1. Configuration of a Starter Kit LR Device
Source: Arduisimple

Type	Configuration	Starter Kit LR
Board	simple RTK boards	
Radio Module	Long Range/XBEE	
Antenna	AN-MB-00 (GNSS Dual Band)	

디오 모듈, UHF 안테나를 사용하여 측지용 장비로 구성하여 U-center 전용 소프트웨어를 활용, 기준국 및 이동국을 구성하여 사용한다. Base, Rover는 펌웨어 업데이트를 통해 구성파일을 전송하고, Base는 2.5m의 정확도로 절대위치를 계산하도록 구성되어 있으며 약 10분의 시간이 소요된다. Base가 Rover의 위치를 상대 위치를 계산할 수 있는 Time 모드로 고정되면 보정신호를 전송하게 된다. 정확도를 향상시키기 위해 U-center의 옵션을 재구성할 수 있다. UBX-CFG-TMODE3, UBX-NAV-SVIN 메시지를 사용하여 계산상태를 모니터링할 수 있다.

2.2. NTRIP 지원 측지 수신기 구성

Figure 3, Table 2의 Multi-band GNSS 안테나는 NGS Survey Quadband(L1, L2, L5, L6)를 지원하며 TNC-SMA 케이블(1.5m), TNC-TNC 케이블(2.5m)을 사용하여 이를 통해 전용 모듈에 연결하여 데이터



Figure 3. Multi-channel GNSS Antenna module
Source: Arduisimple

Table 2. The receiveable frequencies of multi-band GNSS calibrated antennas

GNSS	Type of frequency
GPS	L1/L2/L5
GLONASS	G1/G2/G3
Beidou	B1/B2/B3
Galileo	E1/E5/E6

송수신이 가능하다. SimpleRTK2B-Starter Kit LR (Base+Rover)구성과 연결이 가능하며, Base station 과 사전 구성된 Rover 모듈을 연결하여 일반적인 RTK 구성품으로 사용이 가능하다. NTRIP 기반의 측지 모듈은 GNSS 안테나, 동글, 스마트폰, ZED-F9P모듈로 구성되어 안드로이드 기반 공개해석형 전용 앱과 연결하여 사용할 수 있다. RTK 구성의 Rover(이동국) 조합으로 활용이 가능하며 5G 통신과 연계하여 스마트폰과 NTRIP 지원 전용 모듈, 공개형 위치해석 앱을 연결하여 국토지리정보원의 보정서비스 활용이 가능하다.

3. 관측 및 자료 해석

3.1. 정적관측

실험은 2022년 9월 2일 인천대학교 도시과학대학 28호관 인근의 원형경기장, 송도국제대로 372번길 일원의 주소정보시설물인 도로명판 설치위치를 대상으로 정적측위 실험을 실시하였다. 원형경기장내부에 설치된 고정점 5점과 송도국제대로 372번길을 따라 도로명판이 설치된 신호등 지주등의 6점위치를 관측하였다.

다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템을 활용하여 고정되어 있는 11점에 대한 정적관측을 실시하였다. Figure 4(a)원형경기장 내부에 설치한 고정점 5점과

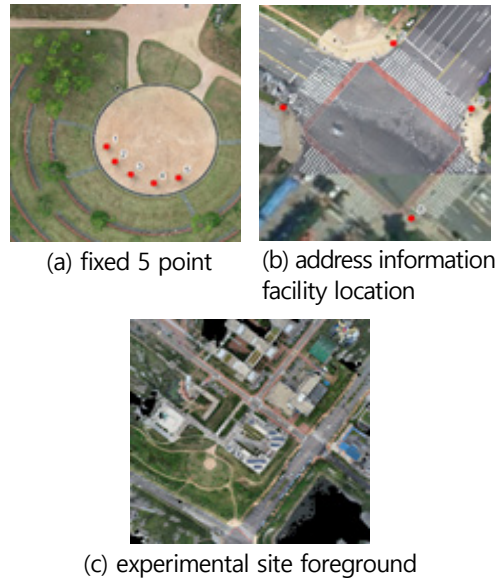
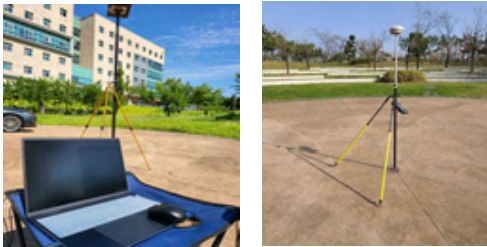


Figure 4. Static Positioning Targets of Fixed Points and Address Information Facilities

(b)송도국제대로 372번길 일원에 설치된 주소정보시설(도로명판)을 대상으로 선정하였다. 인천대학교 원형경기장내부에 설치된 정적관측 대상 5점과 인천대학교 주변에 설치된 주소정보시설물 6점은 모호정수가 고정되는 시점에서 각 점마다 60초 동안 관측한 평균값을 사용하였다. 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템은 저비용 수신기, 스마트폰과 안드로이드 기반 애플리케이션을 연결 가능한 모듈을 OTG 동글과 결합하여 사용이 가능하다. 높이값 보정을 위해 국토지리정보원에서 제공하는 KNGeoid 18구성 파일을 안드로이드 기반 공개형 위치해석 툴에 적합한 포맷으로 변환하여 적용하였다. 바다면에 설치된 고정점 5점은 신호단절이 발생하지 않는 비교적 개활된 지역으로 초기 신호 수립시간이 비교적 짧게 나타났다. 동일한 조건에서 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템의 효용성을 검증하기 위해 상용장비인 Trimble사의 R8 측지용 수신기를 N-RTK(Network RTK) 방식을 적용하여 실험에 활용하였다(Figure 5). 고가의 상용장



(a) Base and notebook (u-center)combination (b) commercial receiver

Figure 5. equipment comparison

비로 저가 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템의 정적측위성과의 비교검증대상으로 적합한 것으로 판단된다.

3.2. 동적관측

실험은 2022년 9월1일 인천대학교 도시과학대학 28호관 옆 원형경기장을 선정하였다. 국토지리정보원 수치지형도(2021, GRS80, 1:5000)를 선택하여 검토한 결과 원형경기장은 지반이 안정된 구조로 가장자리는 철재 구조물로 밀폐된 수로를 중심으로 일정한 폭을 식별할 수 있는 원형의 콘크리트 구조물로 구성되어 경계의 식별이 가능하였다. 국토정보플랫폼에서 제공받은 인천046, 인천056도곽을 오픈소스기반 공개 GIS 프로그램에서 구조물의 특징을 확인하고 원형경기장 내부에 설치된 고정점 중 한점인 Point No.3(N: 37°22'18.054", E: 126°37'55.238", H: 28.719m)를 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템의 Base로 선정하였다. Figure2. (a), (b), (c)의 구성을 유지하고 Base를 기준으로 원형구조물의 각 점당 관측시간은 30초로 설정하여 관측하고 신속히 이동하여 122점에 대한 관측좌표를 취득하였다. 원형구조물의 동적관측성과인 122점의 정확도를 비교하기 위하여 드론측량을 실시하여 정사영상에서 취득한 검사점의 좌표와 상용 측지형 수신기인 R8을 N-RTK 방식



(a) Kinematic Positioning Point (b) Kinematic Positioning Structure

Figure 6. Kinematic Positioning Foreground and Coordinate Acquisition Subjects

을 적용하여 동적측량 성과와 비교·분석하였다.

Figure 6. (a) 드론측량으로 제작한 정사영상과 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 관측한 동적측위의 관측좌표를 중첩한 것으로 정사영상에서 식별 가능한 콘크리트 구조물 선형을 따라 관측점이 형성되는 것을 확인할 수 있다. (b)는 (a) 동적측위 좌표관측 지점을 확대한 것으로 철재재질의 배수로 덮개와 콘크리트 구조물 사이가 관측지점임을 알 수 있다.

동적관측의 정확도를 비교하기 위해 드론측량과 R8 수신기를 실험에 활용하였다. 인천대학교 28호관 일원을 Phantom 4 pro를 사용하여 Double Grid로 비행계획을 설정하고 고도 60m, 종·횡중복도 85%, GSD 1.64cm/px, 385매의 사진데이터(5,742×3,643)를 획득하였다. 지상기준점(GCP, Ground control point)5점, 검사점(CP, Check point)2점을 사용하여 정사영상 제작에 활용하였다. 촬영된 드론영상은 SFM(Structure from Motion)기반 영상해석 방법을 사용하였다.

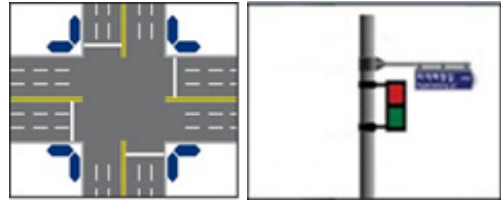
SFM기반 영상해석은 전처리 단계로 이미지 단위로 특징점을 선별 및 추출한 후, 인접한 이미지의 특징점을 추적·정합하여 공역점을 선정한다.

특히, 이미지의 공역기하구조조건이 만족되도록 RANSAC(RANdom Sampling And Consensus, Martin et al. 1981) 등의 영상정합 알고리즘을 적용,

번들조정(bundle adjustment) 또는 영상삼각측량(image triangulation)과 필터링의 순환 조정을 통해 모든 이미지 내 각 특징점의 영상 간 최적 정합상태를 유도하였다. 산출된 정밀 내·외부 표정요소와 지상기준점(GCP)를 적용하여 실세계 좌표상의 고밀도 측정군, Depth map 기반의 수치표면모형(DSM), 수치표고모형(DEM) 및 정사영상(Orthophoto) 등을 종합적으로 재현한다(강준오·이용창 2020).

3.3. 주소정보시설 관측

주소정보시설물은 도로명주소법 제2조에 도로명판, 기초번호판, 건물번호판, 국가지점번호판 및 주소정보안내판이라 규정하고 있다. 동법 제26조(주소정보시설의 관리)에 따라 특별자치시장, 특별자치도지사 및 시장·군수·구청장은 연1회 이상 주소정보시설을 조사하고 동법 시행령 제48조(주소정보시설의 관리)에 의해 매년 주소정보시설 조사계획을 수립하고 조사를 실시하는 의무사항을 규정한다. 지방자치단체 관할 부서에서는 도로명판, 건물번호판 안내시설물에 대한 체계적 관리를 위해 도로명주소사업 위탁기관인 한국국토정보공사나 민간사업자로 하여 조사업무를 실시하고 있다. 국가주소정보시스템에 접속이 가능한 휴대용 장비를 사용하여 현장위치를 참조하고 속성정보 입력창에 해당하는 조사정보와 사진을 입력하는 프로세스를 거친다. 주소정보시설물인 도로명판 6점을 대상으로 도로명판이 설치된 지주대의 재질과 규격을 분석하여 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 방식의 적용 가능성을 확인하였다. 우선, Figure 1에 제시된 Base, Rover 모듈 조합과 NTRIP 방식을 지원하는 수신기, 모듈, 스마트폰, 공개형 위치해석 앱을 Figure 2, Figure 3 구성으로 조합하여 Figure 4(b) 유형의 주소정보시설 6점을 정적관측을 수행하였다. 관측좌표 값은 Figure 5(b)의 상용측지용수신기인 Trimble사의 R8을 N-RTK 방식을 적용하여 취득한 관측



(a) The installation position of the road name board



(b) static observation of road nameplate

Figure 7. Installation location of address information facility

좌표 값과 비교·분석하였다. 주소정보시설인 도로명판은 교통신호등 지주등에 설치되어 Figure 7(b)에 시처럼 철제 구조물상에 수신기를 근접하여 좌표취득을 시도할 경우 모호정수가 유실되어 Single-DGPS-Fix로 연결되는 사례도 발견할 수 있었다.

4. 비교분석

4.1. 정적측위

다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 방식의 정적

Table 3. MAE and RMSE of RTK and R8 in Static Positioning(Unit : m)

Point No	RTK(Base+Rover) / R8		
	ΔX	ΔY	ΔZ
1	-0.031	-0.011	0.031
2	-0.036	0.019	0.036
3	0.000	0.000	0.000
4	0.017	0.020	0.017
5	0.009	0.024	0.009
MAE	0.018	0.015	0.008
RMSE	0.015	0.012	0.010

Table 4. MAE and RMSE of NTRIP Based Low Cost Receiver in Static Positioning(Unit : m)

NTRIP Based Low cost Receiver/ R8			
Point No	ΔX	ΔY	ΔZ
1	-0.031	-0.055	0.064
2	-0.003	-0.034	0.057
3	-0.014	-0.032	0.066
4	-0.025	-0.033	0.048
5	-0.037	-0.020	0.084
MAE	0.018	0.035	0.064
RMSE	0.015	0.025	0.044

측량 성능을 검증하기 위해 Base, Rover 구성의 관측좌표, NTRIP을 지원하는 저가 측지형 GNSS 모듈 구성, 상용수신기인 Trimble사의 R8의 관측값을 비교검토 하였다. RTK(Base, Rover) 구성과 Trimble사의 R8수신기(Table 3) 평균절대오차(MAE, Mean Absolute Error)는 X성분: 0.018m, Y성분: 0.015m, Z성분: 0.008m로, 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)는 X성분: 0.015m, Y성분: 0.012m, Z성분: 0.010m로 나타났다.

Trimble사의 R8 수신기와 NTRIP을 지원하는 저가 측지 GNSS 모듈 구성(Table 4)의 평균절대오차는 X 성분: 0.018m, Y성분: 0.035m, Z성분: 0.064m로, 평균제곱근오차는 X성분: 0.015m, Y성분: 0.025m, Z성분: 0.044m로 나타났다.

4.2. 동적측위

다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 방식으로 관측된 성과의 측위 정확도를 고찰하기 위해서 수치지형도와 영상해석을 통해 취득된 드론영상, 상용장비인 Trimble사의 R8 수신기를 활용 관측좌표를 취득했다. 인천대 도시공학과 주변 수치지형도는 국토정보플랫폼에 공개되어 있는 수치지형도를 사용하였고 RTK(Base, Rover), R8 수신기의 동적관측으로 취득

Table 5. Coordinate errors, MAE and RMSE at checkpoint of RTK and UAS(Unit: m)

RTK(Base+Rover) / UAS(checkpoint)			
Point No	ΔX	ΔY	ΔZ
1	0.022	-0.019	-0.037
2	0.023	-0.024	-0.033
3	0.015	-0.007	-0.041
4	0.013	-0.013	-0.054
5	0.010	-0.013	-0.049
6	0.018	-0.028	-0.047
7	0.025	-0.008	-0.039
8	0.020	-0.012	-0.032
⋮	⋮	⋮	⋮
118	0.032	-0.010	-0.055
119	0.015	-0.003	-0.036
120	0.018	-0.006	-0.048
121	0.003	-0.038	-0.041
122	0.026	-0.012	-0.043
MAE	0.014	0.014	0.037
RMSE	0.016	0.018	0.041

한 122점의 관측좌표와 드론영상 검사점 좌표를 비교하여 Table 5, Table 6, Table 7의 결과를 도출하였다. 드론영상은 GCP 5점, CP 2점을 관측하여 정확도를 검증하고 Table 8, Table 9의 결과를 취득했다.

Figure 4, Figure 6의 실험 장소는 콘크리트 구조물이 40cm 간격으로 지름 20m의 원형구조물을 형성하고 있다. 수치지형도는 구조물의 도화 성과가 실제 지형의 구조물을 상세하게 표현하지 않고 있다. Figure 6. (a) 붉은색 실선과 영상은 중첩결과 20cm~40cm 정도의 이격이 있는 것으로 확인되었다. 2021년도에 고시된 수치지형도는 폭 40cm 배수로 양쪽의 콘크리트 구조물을 상세하게 묘사하지 않는 것으로 판단된다. 본 연구에서 구성한 RTK(Base, Rover)와 드론영상에서 취득한 검사점(Table 5)의 평균절대오차는 X성분: 0.014m, Y성분: 0.014m, Z성분: 0.037m로, 평균제곱근오차는 X성분: 0.016m, Y성분: 0.018m, Z성분:

Table 6. Coordinate errors, MAE and RMSE at checkpoint of RTK and R8(Unit: m)

RTK(Base+Rover) / R8			
Point No	△X	△Y	△Z
1	-0.006	-0.025	0.023
2	-0.019	-0.018	0.029
3	-0.001	-0.033	0.044
4	-0.015	-0.041	0.053
5	-0.007	-0.014	0.010
6	-0.016	-0.016	0.005
7	0.005	-0.028	0.022
8	-0.014	-0.020	0.018
⋮	⋮	⋮	⋮
118	0.018	0.018	0.065
119	0.015	0.015	0.057
120	0.018	0.013	0.038
121	0.013	0.004	0.014
122	0.017	0.017	0.032
MAE	0.022	0.018	0.037
RMSE	0.025	0.022	0.041

Table 7. Coordinate errors, MAE and RMSE at checkpoint of R8 and UAS

UAS(checkpoint)/R8			
Point No	△X	△Y	△Z
1	0.016	-0.044	-0.014
2	0.004	-0.042	-0.004
3	0.014	-0.040	0.003
4	-0.002	-0.054	-0.001
5	0.003	-0.027	-0.039
6	0.002	-0.044	-0.042
7	0.030	-0.036	-0.017
8	0.006	-0.032	-0.014
⋮	⋮	⋮	⋮
118	0.050	0.008	0.010
119	0.030	0.012	0.021
120	0.036	0.007	-0.010
121	0.016	-0.034	-0.027
122	0.043	0.005	-0.011
MAE	0.027	0.023	0.014
RMSE	0.031	0.029	0.017

0.041m로 나타났다.

RTK(Base, Rover)와 R8 관측점(Table 6) 평균절대 오차는 X성분: 0.022m, Y성분: 0.018m, Z성분: 0.037m로 평균제곱근오차는 X성분: 0.025m, Y성분: 0.022m, Z성분: 0.041m로 나타났다. RTK와 R8에서 취득한 좌표간의 오차는 0.1cm~6.5cm 좌표성분오차를 나타냈다.

드론영상에서 취득한 검사점과 R8 관측점(Table 7) 평균절대오차는 X성분: 0.027m, Y성분: 0.023m, Z성분: 0.014m로 평균제곱근오차는 X성분: 0.031m, Y성분: 0.029m, Z성분: 0.017m로 검증했다. 드론영상에서 취득한 검사점과 R8에서 취득한 좌표간의 오차는 0.2cm~4.4cm 좌표성분오차를 나타냈다.

원형의 구조물을 tracking하는 과정에서도 모호정수를 상실하지 않고 지속적인 관측이 실현되었다. 주변에 일정한 건물 배치와 수목이 있는 환경에서는 다채널

Table 8. Coordinates of ground reference points and checkpoints of UAS(Unit: m)

	Point No	X	Y	Z
GCPs	1	530331.982	167409.163	28.781
	2	530432.205	167464.951	28.343
	3	530370.883	167551.569	28.032
	4	530292.802	167439.318	32.301
	5	530387.938	167444.872	33.943
CP	6	530378.171	167505.766	51.443
	7	530329.234	167473.034	59.771

GNSS RTK 모듈 측위 시스템 방식을 사용한 실험에서도 양호한 성과를 확인하였다. GNSS관측환경 및 실험 조건을 분류하여 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

Table 9. Checkpoint Accuracy Comparison in 3D Model Based on UAS(Unit : m)

Type	Point No	X	Y	Z
CP	6	530378.171	167505.766	51.443
	7	530329.234	167473.034	59.771
Checkpoint in 3D Model	6	530378.196	167505.729	51.478
	7	530329.271	167473.043	59.783
Absolute Deviation	6	0.025	0.037	0.035
	7	0.037	0.009	0.012
Ave. of STDEV		±0.031	±0.023	±0.025

4.3. 주소정보시설의 관측성과

주소정보시설물인 도로명판 6점을 선정하여 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 방식 관측좌표, Trimble사의 R8 수신기의 관측좌표를 비교 검토하였다. 도로명시설물 6점에 대한 관측성과는 상용측지용 수신기인 R8을 기준값으로 정하고 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 기반 좌표 취득 값을 비교분석했다.

측지용 장비인 R8 수신기와 저가형 Base, Rover 구성(Table 10) 평균절대오차는 X성분: 0.295m, Y성

Table 10. MAE AND RMSE of RTK and R8 in Address Information Facility(Unit : m)

RTK(Base+Rover) / R8			
Point No	X	Y	Z
6	-0.472	-0.197	-0.017
7	0.097	0.264	-0.011
8	0.200	0.216	-0.083
9	-0.358	-0.448	0.067
10	-0.016	0.375	-0.049
11	-0.332	-0.009	0.090
MAE	0.295	0.302	0.063
RMSE	0.216	0.213	0.045

Table 11. MAE AND RMSE of NTRIP Based Low Cost Receiver in Address Information Facility (Unit : m)

NTRIP Based Low cost Receiver/ R8			
Point No	X	Y	Z
6	-0.502	-0.232	0.101
7	0.187	0.167	0.065
8	0.008	0.313	-0.103
9	-0.261	-0.306	0.151
10	-0.007	0.305	0.344
11	-0.173	-0.212	0.152
MAE	0.190	0.256	0.153
RMSE	0.187	0.193	0.131

분: 0.302m, Z성분: 0.063m로, 평균제곱근오차는 X성분: 0.216m, Y성분: 0.213m, Z성분: 0.045m로 비교·분석했다.

Trimble사의 R8 수신기와 NTRIP을 지원하는 저가 측지형 GNSS 모듈 구성의 관측값(Table 11) 평균절대오차는 X성분: 0.190m, Y성분 : 0.256m, Z성분: 0.153m, 평균제곱근오차는 X성분: 0.187m, Y성분: 0.193m, Z성분: 0.131m로 비교·분석했다. 도로명판이 설치된 신호등 하단 지주의 지름은 한국도로교통 시설물 단체표준에 약 21cm~약35cm 로 설명되어 있으며 재질은 철제 구조물로 관측시점은 2022년 9월 2일, 3일로 나누어 관측하였다. 원형의 철제재질 구조물을 보행자편 안쪽 부분을 동일하게 관측하려고 하였으나 장비운영 및 시간적 요인으로 인하여 동일한 관측 위치 선정이 선행되지 않아 위와 같은 오차가 발생한 것으로 판단된다.

5. 결론

다채널 저가 GNSS 측위 모듈 기반 RTK 측량 시스템(이하, '다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템')을 구성, 정적 및 동적 측량성과를 상용용 측량수신기 성과

와 비교·검토하고 '주소정보시설 조사사업'의 활용 방안을 분석한 결과 다음과 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 구성된 '다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템' 기반 정적측위, 동적측위를 실시하고 상용수신기, 드론 영상을 활용한 결과를 분석하였다. 정적, 동적 측위의 결과는 위치정보와 연관된 분야에 적용하는 것이 가능하리라 기대된다.

둘째, 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템의 Base, Rover구성과 저가 NTRIP 구성은 독립적으로 작동하는 모듈방식이다. Base, Rover 구성은 안테나와 수신기를 €670 이하의 가격으로 활용이 가능하고 별도의 인터넷 연결이 필요없어 사용이 용이하다. 저가 NTRIP 구성은 €53, €200 이하 가격대의 수신기와 5G 기반의 안드로이드 공개 위치해석 툴과 호환되는 €200이하의 수신모듈을 활용하여 운영이 가능하다. 상용수신기 대비 예산운영의 효율성이 있을것이라 판단된다.

셋째, 주소정보시설에 본 연구에서 조합 구성한 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템 적용방안을 검토했다. RTK(Base, Rover)구성과 상용수신기의 평균제곱근오차는 X성분: 0.216m, Y성분: 0.213m, Z성분: 0.045m로 비교검증되었다. NTRIP을 지원하는 저가 측위 GNSS 모듈 구성과 상용수신기의 평균제곱근오차는 X성분: 0.187m, Y성분: 0.193m, Z성분: 0.131m로 나타났다. 주소정보시설은 도로명주소법 9조에 설치위치가 지정되어 있으며, 가로등, 교통신호등, 도로표지 등 지주등에 설치하는 것으로 표현하고 있다. 주소정보시설 중 지주등에 설치된 시설은 위치정확도가 필요한 현지조사 업무를 시행할 경우 지주등의 원형 구조물 하단의 위치좌표를 취득하여야 한다. 지주등은 지역별 풍속기준에 의해 등급을 분류하여 설치하도록 규정하고 주소정보시설이 설치된 지주등의 원형의 철제 구조물은 지름이 약 21cm~약35cm 정도로 현장조사자의 판단에 의해 수평오차가 포함될 것으로 판단된다. 주소정보시설이 설치된 지주등의 원형

철제 구조물은 한국도로교통시설물 단체표준에 규격이 명시되어 있고 약 21cm~약 35cm 정도의 지름을 표현하고 있다. 주소정보시설에 대한 평균제곱근 오차는 약 21cm~약 35cm 정도의 범위를 만족하므로 주소정보시설 조사 분야에 활용 가능하다.

상용수신기와 저가 측위 GNSS 모듈 구성의 좌표관측 결과를 고찰한 결과 공간정보 취득원으로 활용 가능성을 확인하였다. 주소정보시설물조사 업무는 한정된 예산과 인력으로 운영되고 있어 효율화 방안이 필요하다. 다채널 저가 GNSS 측위 모듈 기반 RTK 측량 시스템 적용으로 주소정보시설 조사 업무의 비용절감, 조사방식의 개선효과가 기대된다.

향후, 1차 주소정보활용 기본계획(2022년~2026년)의 주소정보 대상이 확대되고 활용성 대비 중요성도 점차 강조될 것이다. 저가 장비의 정확도 향상 방안 연구를 추진, 시설물의 현장조사는 물론 지적재조사, 지적측량, 공간정보 취득 등 다양한 현업의 적용방안을 모색하고 개선방안을 연구할 계획이다.

참고문헌

References

- 이용창, 오성중. 2020. RTCM-SSR 보정요소 기반 1주파 Multi-GNSS 실시간 측위의 효용성 평가. *지적과 국토정보*, 50(1): 107-123.
- Lee YC, Oh SJ. 2020. Availability Assessment of Single Frequency Multi-GNSS Real Time Positioning with the RTCM-State Space Representation Parameters. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 50(1): 107-123.
- 강준오, 이용창. 2020. 복층 건물 실내외 역설계를 위한 UAV 및 Lidar SLAM 조합 효용성 검토. *지적과 국토정보*, 49(2): 57-66.
- Kang JO, Lee YC. 2020. UAV and LiDAR SLAM Combination Effectiveness Review for Indoor

- and Outdoor Reverse Engineering of Multi-Story Building. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 50(2): 69-79.
- 하지현, 박관동, 김혜인. 2021. LX-PPS GNSS 상시관측소의 정밀측위 활용 가능성 분석. *지적과 국토정보*, 51(1): 23-38.
- Ha JH, Park KD, Kim HI. 2021. Available analysis of precise positioning using the LX-PPS GNSS permanent stations. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 51(1): 23-38.
- 신창수, 최윤수, 박문재. 2017. 지역좌표계 성과분석을 위한 네트워크 RTK측량 사이트 캘리브레이션 기법 적용방안. *지적과 국토정보*, 47(1): 95-110.
- Shin CS, Choi YS, Park MJ. 2017. Application Method of Site Calibration Function of Network RTK Survey for Local Coordinate System Result Analysis. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 47(1): 95-110.
- 노선준, 한중희, 권재현. 2012. 실시간 이동 측위 적용을 위한 Network-RTK(VRS) 정확도 분석. *한국측량학회지*, 30(4): 389-396.
- No SJ, Han JH, Kwon JH. 2012. Accuracy Analysis of Network-RTK(VRS) for Real Time Kinematic Positioning. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 30(4): 389-396.
- 박진솔, 한중희, 권재현, 신한섭. 2014. 공공측량 및 지적조사 사업 적용을 위한 FKP 정밀도 분석. *한국공간정보학회지* 22(3): 23-34.
- Park JS, Han JH, Kwon JH, Shin HS. 2014. Accuracy Analysis of FKP for Public Surveying and Cadastral Resurvey. *Journal of the Korean spatial information society* 22(3): 23-34.
- 김치훈, 김태현, 이용창. 2021. Multi-GNSS 다채널 신호기반, 저가 수신기의 효용성 검토. *대한공간정보학회 춘계학술대회*, pp. 121-122.
- Kim CH, Kim TH, Lee YC. 2021. Review of the Effectiveness of Low-cost Receivers Utilizing Multi-GNSS Satellite Platforms and Multi-Channel Signals. *Korea Spatial Information Society Conference Spring 2022*, pp. 121-122.
- 국토지리정보원. 2003. 가상기준점(VRS) 도입에 관한 연구 2003.
- 국가법령정보센터. 2022. [Internet]. [www.law.go.kr]도로명주소법, 도로명주소법시행령, 도로명주소법시행규칙, 주소정보시설규칙. Last accessed 6 September 2022
- 한국도로교통시설물공업협동조합. 2014. RTSFA 단체표준(SPS-RTSFA-001-2064:2014)
- Martin A. Fischler & Robert C. Bolles. 1981. "Random Sample Consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography" (PDF). *Comm. ACM*, 24(6):381-395. doi:10.1145/358669.358692
- Hardin, P. J., F. Lulla, R. R. Jensen, and J. R. Jensen. 2019. Small Unmanned Aerial Systems(Suas) for Environmental Remote Sensing: Challenges and Opportunities Revisited. *GIScience & Remote Sensing* 56 (2): 309-322.
- Herbert L. Ulrich V. Xiaoming C. 2003. Virtual Reference Stations Versus Broadcast Solutions in Network RTK-Advantages and Limitations, Paper Submitted to GNSS April 2003, pp. 1-15
- Hodgson, M.E., 2020. On the Accuracy of Low-cost Dual-Frequency GNSS Network Receivers and Reference data. *GIScience & Remote Sensing* 57(7): 907-923.
- Williams, RD, Lamy ML., Maniatis G, Stott E. 2020. Three dimensional Reconstruction of Fluvial

Surface Sedimentology and Topography Using Personal Mobile Laser Scanning, Earth Surface Processes and Landforms 45: 251- 261, Arduisimple. 2022. [Internet]. [www.arduisimple.com] Last accessed 1 September 2022	GSA GNSS Market Report. 2019. [Internet]. [euspa.europa.eu/gsa-gnss-market-report] Last accessed 6 October 2022
GEO Systems. 2022. [Internet]. [geosys.co.kr] Last accessed 30 September 2022	2022년 10월 07일 원고접수(Received) 2022년 10월 17일 1차심사(1st Reviewed) 2022년 11월 22일 게재확정(Accepted)

초 록

GNSS 위성측위시스템의 고도화에 따라 다채널 GNSS 수신기, 다 주파 외장안테나 및 모바일 앱(App)기반 공개형 측위해석 소프트웨어 등 사용자 부문에서도 정확성과 경제성을 반영한 하드웨어 및 운용 소프트웨어의 모듈(Module)화가 구현되어 사용자의 목적에 따라 능동적 구성방식(DIY, Do it yourself)의 다채널 GNSS RTK 측위가 가능하다. 특히, Multi-GNSS 위성의 활용 인프라가 확대되고 다양한 모듈의 조합에 따른 활용·확대의 잠재성이 부각되면서 다채널 저가 GNSS 수신기 모듈의 활용에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 본 연구의 목적은 다양한 형태로 대중시장에 등장하고 있는 다채널 저가 GNSS 수신기를 검토하고 다채널 저가 GNSS 측위 모듈 기반 RTK 측량 시스템(이하, "다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템")을 구성하여 행정안전부의 "주소정보시설 조사사업"의 활용 방안을 분석하고 활용 가능성을 평가하였다. 이를 위해 U-blox사의 F9P 칩셋, 안테나, GNSS 관측자료의 Ntrip 전송 및 RTK 측위용 해석 앱(App) 등 관련 모듈을 스마트폰을 매개로 조합, 저가형 "다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템"을 구성하고 원형 궤적에 대한 동적측위 실시 및 주소정보시설을 대상으로 정적측위를 수행하였다. 실험대상지 내 고정점 5점을 대상으로 측지용 수신기 정적측량성과와 비교분석한 결과 평균 $\pm 1.2\text{cm}$ 의 표준편차로 양호한 정적측량성과를 획득할 수 있었다. 또한, 드론 영상 해석으로 구성된 정사영상 내 원형구조물의 외곽선에 대한 검사점과 저비용 RTK GNSS 수신기의 동적측량 궤적과 비교한 결과, 평균 $\pm 2.5\text{cm}$ 의 표준편차로 매우 근접한 궤적 성과를 확인할 수 있었다. 특히, 주소정보시설에 적용한 결과, 고가의 상업용 측지형 수신기 대비 저렴한 비용으로 공간정보구축의 효용성을 검증할 수 있었으므로 지적분야에서 본 연구에서 구성한 "다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템"의 다양한 활용성이 기대된다.

주요어 : 모바일 앱, 다채널 GNSS RTK 모듈 측위 시스템, 동적측위, 정적측위