

LX 위성측위 인프라 기반 네트워크 RTK를 이용한 측위성능 분석

Analysis of Positioning Accuracy Using LX GNSS Network RTK

하지현* · 김현호 · 정완석
한국국토정보공사 공간정보연구원

Jihyun Ha* · Hyun-ho Kim · Wan-seok Jung

Spatial Information Research Institute, Korea Land and Geoinformatix Corporation, Seoul 07332, Korea

[요 약]

LX 한국국토정보공사 공간정보연구원에서는 2011년부터 LX 위성측위 (GNSS; global navigation satellite system) 네트워크를 구축하고 2014년부터 MAC (master-auxiliary correction) 방식의 네트워크 실시간 이동측위 (RTK; real-time kinematic) 전국망 운영 실험을 하고 있다. 본 연구에서는 LX GNSS 인프라의 구축 현황을 소개하고 LX GNSS RTK 서비스를 이용한 측위 성능 분석을 결과를 제시한다. 측위 성능 분석은 전북 전주, 서울, 그리고 인천에 설치된 지적도근점 중 총 25개를 이용하였으며, 1회 관측, 2회 중복관측, 그리고 5회 중복관측을 수행하였다. 측위 성능 비교를 위하여 한국국토정보공사 MAC과 국토지리정보원 VRS로 측량한 성과를 지적도근점의 고시좌표와 각각 비교하였다. 그 결과, 두 시스템이 평균오차와 표준편차가 1~2cm 수준으로 유사한 성능을 보였다.

[Abstract]

The Spatial information research institute of the LX Korea land and geospatial informatix corporation manages infrastructure for the LX global navigation satellite system (GNSS), which comprises 30 monitoring stations nationwide. Since 2014, it has conducted network real-time kinematic (RTK) tests using the master-auxiliary concept (MAC). This study introduces the infrastructure of LX GNSS and presents the results of a performance analysis of the LX RTK service. The analysis was based on a total of 25 cadastral topographic control points in Jeonju, Seoul, and Incheon. For each point, performance was measured over one observation, two repeated observations, and five repeated observations. The measurements obtained from LX MAC and the VRS of the National Geographic Information Institute were compared with the announced coordinates derived from cadastral topographic control points. As a result, the two systems were found to have similar performance with average error and standard deviation differing only by 1 to 2 cm.

Key word : LX GNSS permanent stations, Global navigation satellite system, Real-time kinematic, Positioning accuracy.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.6.507>



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 13 November 2015; Revised 25 November 2015
Accepted (Publication) 9 December 2015 (30 December 2015)

*Corresponding Author, Jihyun Ha

Tel: +82-2-3774-2355

E-mail: hajh@lx.or.kr

I. 서론

한국국토정보공사는 2010년부터 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」 및 「공간정보 구축 및 관리에 관한 법률」 제 6조에 따라 지적측량 및 공간정보 조사 등 관련 업무에 세계측지계(ITRF; international terrestrial reference frame)를 적용하고 있으며, 이와 더불어 세계측지계로 즉각적인 좌표획득이 가능한 위성측위(GNSS; global navigation satellite system)기반의 측량 기술을 점진적으로 확대 활용하고 있다. 이러한 수요에 발맞추어 한국국토정보공사 공간정보연구원에서는 국토 공간정보 및 GNSS 업무의 효율성 향상과 독자 기술력 확보를 위하여 위성측위팀을 구성하고 기초 기술, 응용 기술 등 각종 연구를 수행하고 있으며, 연구의 일환으로 2011년부터 수도권을 시작으로 전국에 GNSS 관측소를 설치하고 네트워크 RTK(real-time kinematic) 기술을 연구하고 있다. 이 논문에서는 한국국토정보공사 공간정보연구원에서 구축한 LX 위성측위 인프라 현황을 소개하고, 인프라 기반의 네트워크 RTK 서비스를 이용한 측위 성능 분석 결과를 기술한다.

한국국토정보공사 공간정보연구원에서는 2011년, 「GPS 측량 효율성 향상 방안 연구」 [1]를 통하여 3세대 측량시스템인 네트워크 RTK 시스템을 운영하기 위한 기반 기술을 확보하였으며, 이를 토대로 2012년에는 전국에 분포한 지사 옥상을 이용한 총 30개소로 구성된 전국망 규모의 실험용 GNSS 관측망을 구축하였다. 2013년도에는 네트워크 RTK 정식 라이선스를 도입하여 시범 운영을 시작하였으며, SBS와의 MOU를 통해 실험용으로 구축된 GNSS 관측망 1차 고도화를 추진하였다. 또한 「GPS 정밀측위 정확도 향상을 위한 최신모델 적용 연구」 [2]를 통해 인프라 운영 기술의 핵심이 되는 GNSS 정밀측위 기술력을 확보하였다. 2014년에는 「LX 위성측위 인프라 고도화 및 시스템 안정화 연구」 [3, 4]를 통하여 GNSS 관측망 2차 고도화 및 독자 중앙운영시스템을 구축하였으며, GNSS 관측망과 중앙운영시스템을 통칭하여 ‘LX 위성측위 인프라’라고 명명하였다. 또한 인프라 고도화에 따라 2014년 7월부터 MAC(master-auxiliary correction)기반의 네트워크 RTK 시험운영을 시작하였으며, 베타버전의 매뉴얼을 공사 내부 인트라넷을 통해 공개·배포함으로써 LX 위성측위 인프라의 실용 확산의 기반을 마련하였다. 2절에서는 LX 위성측위 인프라의 구축 현황 및 중앙운영시스템 구축 현황을 소개하고, 3절에서는 이를 활용한 네트워크 RTK 현장 성능 분석 결과를 기술한다.

II. LX 위성측위 인프라

GNSS 관측소란 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS 등 GNSS 위성에서 송출하는 신호를 상시 관측·수집하고 저장·관리하는 곳으로 공간정보연구원에서는 정밀 위치결정에서부터 공간정보 조사까지 다양한 분야에서 활용이 가능하도록 정밀측지용

최신 GNSS 수신기와 안테나, 전력공급 장치, 통신장치 등으로 구성된 GNSS 관측소를 구축하였다. GNSS 관측망이란 여러 개의 GNSS 관측소로 구성된 네트워크로서, 통제 및 관리시스템, 데이터 수집, 저장, 처리 및 분석 시스템을 갖춘 중앙데이터 센터가 포함된 개념이다[5]. 일반적으로 GNSS 관측소를 운영하는 기관에서는 한 지점에 중앙데이터센터를 두고 전국에 위치한 각각의 관측소와 네트워크로 연결하여 관측망을 구성한다. 국토지리정보원의 경우 본원이 위치한 수원, 한국천문연구원의 경우도 대전 본원에 중앙데이터 센터를 두고 있다. 공간정보연구원에서는 전국에 30개 GNSS 관측소를 구축하고 공간정보연구원 내 중앙운영시스템을 구축하였다. 이 절에서는 전국에 위치한 LX GNSS 관측소와 중앙운영시스템 구축 현황을 소개한다.

2-1 LX GNSS 관측소

현재 국내에는 150여개의 GNSS 관측소가 운영 중이다. 국토교통부 국토지리정보원에서는 측지기준망 구축과 공공측량 및 지적측량을 위하여 전국에 50여 개소의 GNSS 관측소를 운영 중이며, 음영지역 해소를 위해 지속적으로 관측소를 확충하고 있다. 해양수산부 위성항법중앙사무소에서는 도서지역을 중심으로 선박 항법용 GNSS 관측소 30여개소를 운영 중이며, 국립해양조사원에서는 국가수직기준면 모니터링 시스템을 위해 10여개소의 GNSS 관측소를 운영하고 있다. 기상청 국립기상과학원에서는 기상 관측 연구를 위하여 서울 및 수도권을 중심으로 20여개소의 GNSS 관측소를 운영하고 있다. 이외에도 한국천문연구원 9개소, 한국지질자원연구원 6개소, 서울시 5개소 등 각 기관의 고유의 목적을 위해 GNSS 관측소를 설치, 운영하고 있다.

한국국토정보공사에서는 「측량·수로 조사 및 지적에 관한 법률」에 따라 2010년부터 지적측량 등 관련 업무에 세계측지 좌표계를 적용하고 있으며, 2021년 이후에는 지적측량 전 분야 세계측지계 적용이 의무화됨에 따라 직접적인 세계측지좌표계 성과 도출이 가능한 GNSS 측량을 점진적으로 확대 실시하고 있다[1]. 한국국토정보공사 공간정보연구원에서는 네트워크 RTK 기술, 인프라 운영 기술, 정밀측위기술 등 각종 GNSS 기술 연구를 위하여 2011년부터 GNSS 관측소를 구축하였으며, 전국망 확대 및 인프라 고도화 과정을 거쳐 현재 30개소의 관측소를 운영하고 있다. 2011년도에 구축한 GNSS 관측소는 수도권 외곽 4개소로(그림 1), Trimble사의 정밀측지용 수신기인 NetR9과 TRM55971.00 TZGD 안테나가 사용되었다. 2012년부터 지적재조사 사업이 본격적으로 시작됨에 따라 한국국토정보공사에서는 전국망 규모의 실험을 위한 관측소를 추가 설치하였다(그림 2). 실험용 관측소는 전국 26개 한국국토정보공사 지사(거제, 고흥, 구례, 기장, 나주, 단양, 동해, 보은, 부안, 안동, 여수, 여주, 완도, 울산, 울진, 임실, 정선, 제주, 진도, 청양, 칠곡, 포항, 태안, 합천, 화천) 옥상에 설치되었으며, 측량 현장에서 사용되던 구형 장비인 Trimble 5700 수신기와 TRM39105.00 안



그림 1. 2011년 한국국토정보공사 GNSS 관측소[1]
Fig. 1. LX GNSS stations on 2011[1].



그림 2. 2012년 한국국토정보공사 GNSS 관측소[3]
Fig. 2. LX GNSS stations on 2012[3].

테나가 사용되었다[4]. 2012년 말 전국 실험망 가동을 시작하였으며, 재조사 현장 성능 검증을 실시함으로써 현장 활용 가능성을 평가함과 동시에 고도화의 필요성이 대두되었다.

이에 한국국토정보공사는 2013년 1월 공중과 방송사인 (주) SBS와 MOU를 체결함으로써 LX-SBS GNSS 공동관측망 구축을 통한 인프라 고도화를 추진함과 동시에 가시 환경이 우수한 지역을 대상으로 전국망 운영에 보다 적합하도록 관측소 배치를 수정하였다[3, 4]. 인프라 고도화는 구형 장비로 구축된 26개소의 관측 장비를 최신 정밀측지용 장비로 교체하고 안테나 거치대를 보강하는 등 관측소 개선과 중앙운영시스템 구축 등 크게 두 가지 목표로 진행되었다. 먼저 GNSS 관측소 개선은 2013년부터 2015년까지 전국에 걸쳐 1차, 2차, 3차로 나누어 진행되었으며, 한국국토정보공사에서 15개소, (주)SBS에서 15개소를

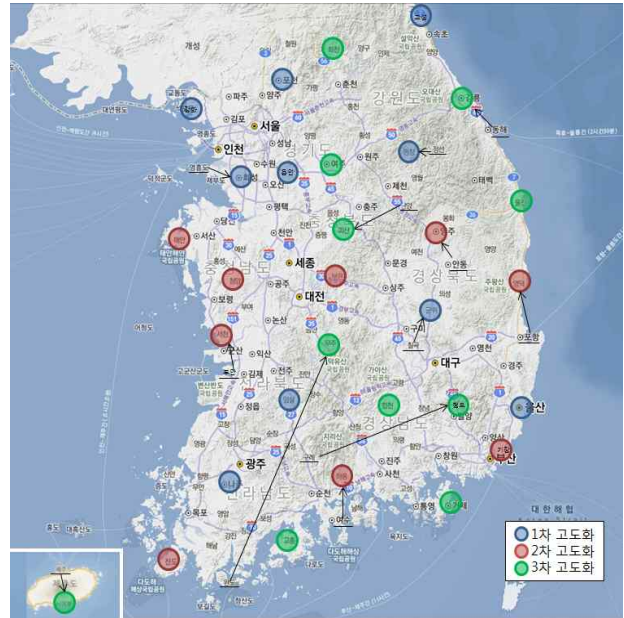


그림 3. 한국국토정보공사 GNSS 관측망 고도화(2013~2015)
Fig. 3. Improvement of LX GNSS stations(2013~2015).

진행하였다. 그림 3의 파란색 원으로 표시된 지점이 1차 고도화 대상이며, 빨간색 원으로 표시된 지점이 2차 고도화 지역, 그리고 녹색 원으로 표시된 지점이 3차 고도화 지역이다.

1차 고도화는 2013년 2월부터 2014년 1월까지 강화, 고성, 군위, 나주, 용인, 울산, 임실, 평창, 포천, 화성 등 10개소를 대상으로 진행되었다. 1차 고도화 시, 영흥도 수산종묘배양연구소에 설치된 관측소를 한국국토정보공사 화성지사로 이전하였으며, 칠곡은 군위로, 정산은 평창으로 이동하였다. 2차 고도화는 2014년 5월에서 6월까지 기장, 청양, 진도, 영주, 서천, 하동, 영덕, 보은, 태안 등 9개소를 대상으로 진행되었으며, 이 과정에서 안동을 영주로, 부안을 서천으로, 여수를 하동으로, 포항을 영덕으로 이동하였다[3]. 3차 고도화는 2015년도 5월부터 7월까지 강릉, 거제, 고흥, 괴산, 서귀포, 무주, 여주, 울진, 청도, 함천, 화천 등 나머지 11개소를 대상으로 진행되었으며, 이 과정에서 동해를 강릉으로, 단양을 괴산으로, 완도를 무주로, 구례를 청도로, 제주를 서귀포로 이동하였다. 1차~3차 고도화를 통해 구형 장비로 구축된 관측소는 정밀측지용 장비 (Javad Sigma-G3T 수신기와 RINGANT_DM 안테나, Leica GR25 수신기와 AR25 안테나)로 교체되었으며, 레이돔은 모두 SCIGN의 SCIS 레이돔이 사용되었다. 2011년도에 사용되었던 Trimble사의 NetR9 수신기와 Zephyr Geodetic II 안테나는 기장, 영주, 진도, 청양으로 이동 설치되었다. (주)SBS에서 설치한 15개소는 모두 Javad 장비로 구성되어 있으며, 공간정보연구원에서 설치한 15개소는 Leica 6개소, Javad 5개소, Trimble 4개소로 구성되어 있다. 각 관측소별 현황을 표 1에 나타내었다.

표 1. LX GNSS 관측소 현황

Table 1. Status of LX GNSS stations.

No.	Site name	Site code	Receiver type	Antenna type	Agency
1	Ganghwa	KAWH	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
2	Gangneung	GANR	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
3	Geje	GEJE	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
4	Gosung	GSNG	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
5	Goheung	GOHN	Leica GR25	Leica AR25	LX
6	Goesan	GOES	Leica GR25	Leica AR25	LX
7	Gunwi	GUNW	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
8	Gijang	GIJN	TRM NetR9	TRM55971.00	LX
9	Naju	NAJU	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
10	Muju	MJOJ	Leica GR25	Leica AR25	LX
11	Boeun	BOUN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	LX
12	Seguipo	SGUI	Leica GR25	Leica AR25	LX
13	Seocheon	SCHN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	LX
14	Yeoju	YEJU	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
15	Yeongdeok	YNDK	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	LX
16	Youngju	YONJ	TRM NetR9	TRM55971.00	LX
17	Youngin	YOIN	Leica GR25	Leica AR25	LX
18	Ulsan	ULSN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
19	Uljin	WLJN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
20	Imsil	IMSL	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
21	Jindo	JNDO	TRM NetR9	TRM55971.00	LX
22	Chungdo	CHND	Leica GR25	Leica AR25	LX
23	Chungyang	CHNY	TRM NetR9	TRM55971.00	LX
24	Taeam	TEAN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	LX
25	Pyeongchang	PNCH	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
26	Pocheon	POCH	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
27	Hadong	HADN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	LX
28	Hapcheon	HPCN	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
29	Hwasung	HSNG	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS
30	Hwacheon	HWCH	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT DM(SCIS)	SBS

2-2 중앙운영시스템

한국국토정보공사 공간정보연구원에서는 전국에 분포한 GNSS 관측소를 운영·관리하고 실시간으로 데이터를 수집·저장·분석을 위하여 중앙운영시스템을 구축하였다. 중앙운영시스템은 공간정보연구원 내에 설치되었으며, 크게 3개의 운영자단 시스템으로 구성되었다(그림 4). 네트워크시스템은 관측소를 원격으로 운영·관리하고 네트워크 RTK 보정정보를 생성·제공하며, 모니터링시스템은 수집된 관측데이터를 RINEX

(receiver independent exchange format)로 변환하고 분석함으로써 운영자단 품질 모니터링을 수행한다. 백업시스템은 네트워크 시스템으로부터 수집된 관측데이터를 저장하고 모니터링 시스템에서 도출된 관측소의 분석 결과를 저장한다[4].

네트워크 RTK 시스템은 보정방식에 따라 VRS, FKP, MAC 등이 있으며 국토지리정보원에서는 VRS와 FKP를, 한국국토정보공사에서는 MAC 방식의 네트워크 RTK 서비스를 제공하고 있다. MAC 네트워크 RTK 방식은 기존의 네트워크 RTK 방식과 같이 RTCM 메시지를 이용하되 주 기준국과 부 기준국의 기하학적 관계를 고려하여 보정정보의 가중치를 부여하며, 오차요인 별 시공간적 변화 정도에 따라 보정정보는 전송 간격을 달리함으로써 데이터 크기를 줄이는 방법이다. 따라서 기존의 네트워크 RTK 방식에 비해 동일한 성능은 달성할 수 있으면서도 데이터 크기는 줄일 수 있다[1]. 단, 시간 변화율이 낮은 오차는 전송 간격 또한 비교적 넓기 때문에 기존의 방식에 비해 초기화 시간이 수 초 수준에서 더 소요될 수 있다.

한국국토정보공사 네트워크시스템에는 Leica사의 스파이더넷(Spidernet) 프로그램을 이용하여 GPS와 GLONASS기반 MAC 서비스를 제공하고 있으며, 네트워크 RTK 접속 주소는 lxrkt.net, 포트는 2101을 이용하고 있다. 접속을 위해서는 중앙운영시스템 관리자로부터 ID와 패스워드는 부여받아야 한다. 중앙운영시스템에서는 그림 5와 같이 자동으로 접속자 ID, 대략적인 위치, 접속 시간, 접속 망 등에 대한 로그를 관리, 분석한다.

모니터링시스템에는 미국 UNAVCO (University Navstar

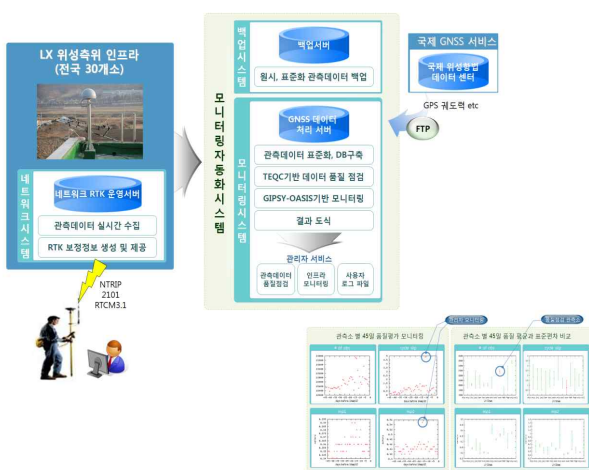


그림 4. 중앙운영시스템 구성[4]
Fig. 4. Central system of LX GNSS network[4].

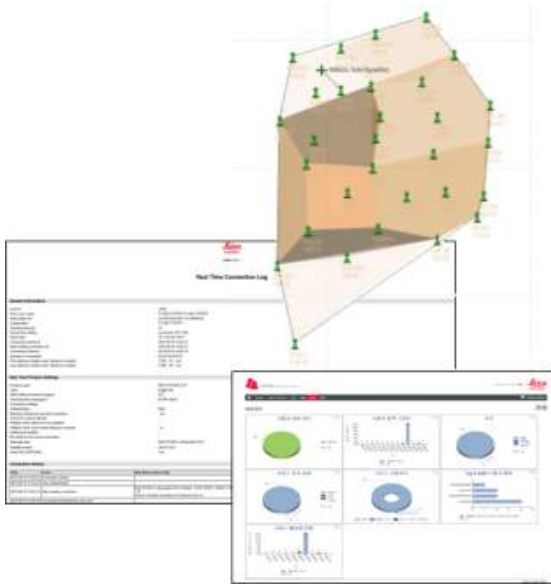


그림 5. LX 네트워크 RTK 사용자 접속현황
 Fig. 5. User monitoring of LX network RTK.

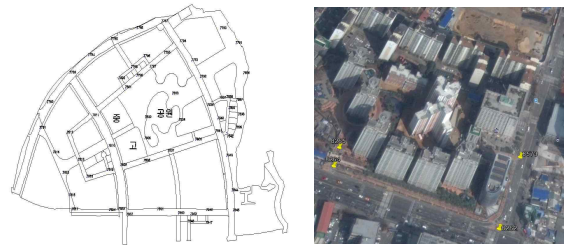


그림 7. 현장실험 지역(좌: 전주, 우: 서울)
 Fig. 7. Field test (Left: Jeonju, Right: Seoul).

품질점검 모니터링 결과를 제시하였다.

III. 현장 성능 분석

LX 위성측위 인프라 네트워크 RTK 1차 성능실험은 2015년 5월 21일 전주시 덕진구 혁신도시내에 위치한 지적도근점을 대상으로 실시하였다. 1차 실험 시기는 LX 위성측위 인프라 3차 고도화가 진행 중인 기간으로 2차 실험을 통해 최종 성과 실험을 진행하였다. 2차 현장실험은 고도화가 완료된 직후인 8월 7일 서울 당산과 인천 송도 일대에서 각각 진행되었다. 1, 2차 실험지역을 그림 7에 나타내었다.

실험 지역의 지적도근점은 지적확정측량 과정에서 정지측위 관측 후 국토지리정보원의 위성기준점을 기준으로 망조정을 통해 좌표가 고시된 지역으로 각각 19점과 6점을 사용하였다. 표 2에 측정의 고시좌표를 정리하였다. 현장실험은 측정대상 지적도근점을 국토지리정보원에서 제공하고 있는 VRS 서비스와 LX 위성측위 인프라 MAC 방식을 동일지점에서 관측하고 그 결과를 정지측위에 의한 고시좌표와 비교하였다.

1차 현장실험은 지적도근점 19점 중 12점에 대해서 1회 관측을 실시하였으며, 7점에 대해서는 2회 중복관측 실시하여 좌표 오차를 분석하였다. 1회 관측에 사용된 점은 표 2의 측정 1~12이며, 2회 중복관측에 사용된 점은 측정 13~19이다. 먼저, 1회 관측실험의 좌표 비교 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8의 고시좌표에 대한 LX MAC과 국토지리정보원(NGII) VRS의 좌표 오차를 보면 유사한 경향을 보이며 두 시스템 사이에 편향이 존재하는 것을 알 수 있다. 이는 두 시스템에서 각각 기준점 좌표를 고정하기 위해 적용된 오차 모델 및 고정점 좌표 등 산출 방법에 의한 차이로, 두 시스템 간 평균 2 cm 범위에서 차이가 있으며[3], 서울시 VRS와 국토지리정보원 VRS도 2 cm 범위에서 차이가 있는 것으로 알려져 있다[1].

측점별 좌표 오차를 보면, LX MAC과 NGII VRS가 방향의 차이는 있지만 모두 측정 7번과 9번에서 가장 큰 좌표 차이를 보였다. 이는 해당 관측지점은 주변에 고가 차로가 있어 위성가시 환경에 제약이 있기 때문인 것으로 판단되며, 따라서 두 시스템 모두 좌표 오차가 비교적 크게 나타난 것으로 판단된다. 이 점을 제외하면, LX MAC의 경우 -2~5 cm, NGII VRS의 경우 -5 cm~4 cm 범위에서 좌표 오차가 관측되었다. 오차 평균은

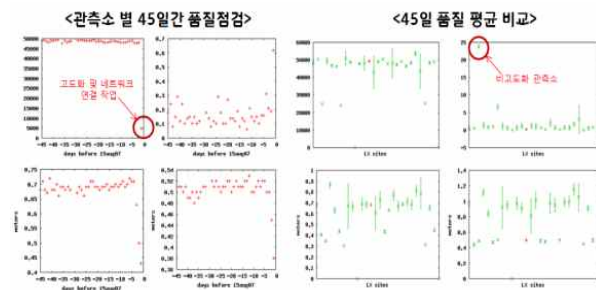


그림 6. 관측데이터 품질점검 결과 예시
 Fig. 6. Quality checking of LX GNSS stations.

Consortium)에서 개발한 TEQC (translation, editing, quality-checking)와 미항공우주국 제트추진연구소 (JPL; Jet Propulsion Laboratory)에서 개발한 GIPSY-OASIS(GPS inferred positioning system-orbit analysis and simulation software)가 설치되어 있다. TEQC는 GNSS 관측데이터 변환, 편집, 품질점검이 가능한 무료 프로그램이다. 공간정보연구원의 모니터링시스템은 TEQC를 이용하여 각 관측소 원시데이터를 RINEX로 변환하고 데이터 수신율, 다중경로 오차, 사이클 슬립 등 관측데이터 품질 점검을 실시하고 있다. GIPSY-OASIS는 세계 3대 GNSS 고정밀 데이터 처리 프로그램 중 하나로서 IGS (international GNSS services) 등 국제 데이터센터에서 제공하는 GNSS 위성 궤도력을 이용하여 고정밀 처리함으로써 수 mm~cm 수준의 정밀한 좌표를 산출하는 프로그램이다. 모니터링시스템에서는 TEQC를 이용하여 정렬된 RINEX와 정밀궤도력 및 초신속궤도력을 이용하여 GIPSY-OASIS로 정밀 좌표를 산출하며, 각 관측소 별 좌표 모니터링을 통해 각 관측소의 이상발생 여부, 즉 안정성을 점검한다. 그림 6에 TEQC를 이용한

표 2. 지역도근점 고시좌표

Table 2. Announce coordinates of cadastral topographic control points

No.	Point No.	Announce coordinates		Area	
		N(m)	E(m)		
1 st test	1	7792	360799.71	205668.32	Jeonju
	2	7793	360867.84	205626.99	
	3	7794	360945.46	205570.22	
	4	7795	360898.10	205494.52	
	5	7805	360547.45	205400.17	
	6	7837	360713.81	205762.66	
	7	7838	360716.76	205795.98	
	8	7840	360629.26	205752.15	
	9	7842	360573.95	205795.55	
	10	7897	360704.96	205842.99	
	11	7898	360645.02	205851.34	
	12	7899	360592.01	205839.82	
	13	7797	360841.14	205425.48	
	14	7798	360804.49	205361.71	
	15	7802	360633.81	205403.06	
	16	7803	360731.06	205533.64	
	17	7804	360623.44	205566.40	
	18	7836	360700.17	205723.74	
	19	7841	360574.05	205771.78	
2 nd test	20	8262	547423.67	547423.69	Seoul
	21	8264	547493.58	191224.21	
	22	보67	531759.44	171926.37	Incheon
	23	보69	529829.69	170349.65	
	24	보70	529660.55	171532.30	
	25	보71	527994.36	170151.20	

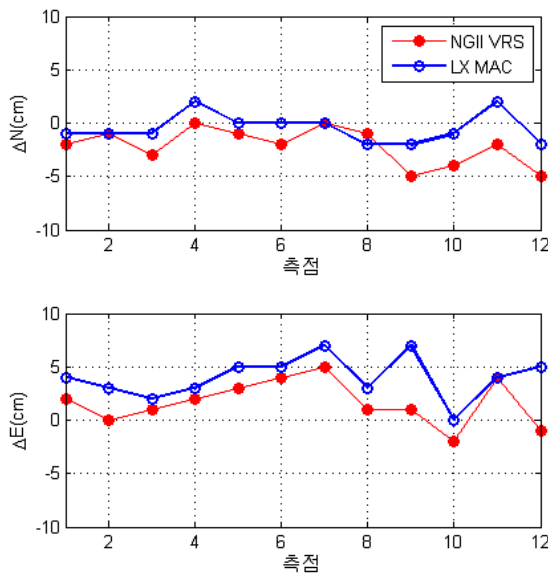


그림 8. 고시좌표에 대한 네트워크 RTK 좌표 차이 (1차 실험)
 Fig. 8. Horizontal coordinates differences between announce coordinates of cadastral topographic control points and network RTKs (first field test).

LX MAC의 경우 남북방향 -0.4 cm, 동서방향 3.4 cm, 국토지리 정보원 VRS의 경우 남북방향 -2.1 cm, 동서방향 1.4 cm로 나타났다. 표준편차는 LX MAC의 경우 남북방향 1.4 cm, 동서방향 1.6 cm로 나타났으며 NGII VRS는 남북방향 1.5 cm, 동서방향 2.0 cm로 나타났다. 두 시스템 간 평균 좌표 차이와 표준편차를 보면 LX MAC이 다소 정확한 것으로 보이지만, 이는 일반적으

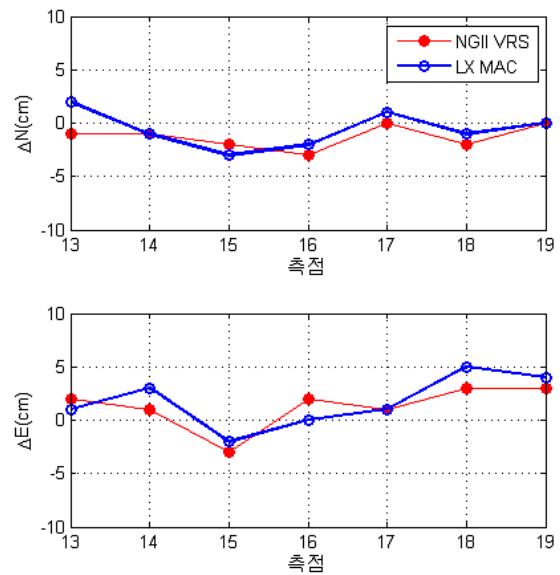


그림 9. 고시좌표에 대한 네트워크 RTK 중복관측 좌표 차이
 Fig. 9. Horizontal coordinates differences between announce coordinates of cadastral topographic control points and network RTKs when repeating surveying.

로 달성할 수 있는 네트워크 RTK 성능 면[6,7]에서는 큰 차이는 없이 두 시스템 모두 우수한 성능을 보이는 것이다.

다음으로 중복 관측한 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 좌표 오차는 동일한 지점을 2회 연속으로 관측한 후 평균 좌표를 산출하고 이를 고시좌표와 비교한 것이다. 그림 9를 보면

그림 8과 같이 두 시스템의 좌표 오차가 유사한 경향을 보이는 반면 시스템 간 편향이 그림 8에 비해 다소 감소한 것을 알 수 있다. 이는 중복관측에 의해 좌표 평균치를 산출하면서 나타난 현상이나, 세로축의 범위를 보면 그림 8과 크게 다르지 않는 것을 알 수 있다. LX MAC의 경우 -3~5 cm, NGII VRS의 경우 -3~3 cm 범위에서 좌표 차이가 나타났다. 평균 오차는 LX MAC의 경우 남북방향 -0.6 cm, 동서방향 1.7 cm로 나타났으며, NGII VRS는 남북방향 -1.3 cm, 동서방향 1.3 cm로 나타났다. 표준편차는 LX MAC의 경우 남북방향 1.7 cm, 동서방향 2.4 cm로 나타났으며, NGII VRS는 남북방향 1.1 cm, 동서방향 2.1 cm로 나타났다. 중복관측 결과와 1회 관측 결과를 비교해 보면 네트워크 RTK 오차범위 내에서 큰 차이 없이 유사한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

2차 현장실험은 지적도근점 6점을 대상으로 각 지점별 5회 관측을 실시하였으며, 각 관측마다 초기화를 수행하였다. 2차 현장실험 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10의 가로축은 동서방향이며, 세로축은 남북방향이다. 단위는 cm이다. 그림 10을 보면 측점 8286에서 국토지리정보원 VRS가 10cm 수준으로 비교적 큰 좌표 오차가 발생한 것을 볼 수 있으며, 이를 제외하면 두 시스템이 ±5cm 범위에서 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 당산 8286 점을 제외하면 1차 실험(그림 8, 그림 9)에서와 유사한 오차 범위로 두 시스템에서 큰 성능차이는 없는 것이다. 그러나 당산 8286점과 같이 국토지리정보원 네트워크 RTK 시스템에서 오차가 발생하더라도 LX MAC에서는 오차가 발생하지 않았다는 점은 두 시스템이 상호 보완할 경우 사용자는 보다 안정적인 성과 달성이 가능하다는 것을 의미하는 것이다. 두 시스템의 평균 오차는 LX MAC의 경우 남북방향 -1.6 cm, 동서방향 2.9 cm로 나타났으며, NGII VRS는 남북방향 -1.1

cm, 동서방향 2.4 cm로 나타났다. 표준편차는 LX MAC의 경우 남북방향 1.5 cm, 동서방향 1.2 cm로 나타났으며, NGII VRS는 남북방향 4.4 cm, 동서방향 2.5 cm로 나타났다.

IV. 결 론

한국국토정보공사 공간정보연구원에서는 2011년부터 GNSS 기반 네트워크 RTK 기술 연구를 위한 GNSS 관측소를 설치하였으며, 2015년 고도화를 완료하고 전국망 네트워크 RTK 서비스를 시험하고 있다. 본 논문에서는 전국에 분포한 LX GNSS 인프라 현황을 소개하고 LX 네트워크 RTK 서비스를 이용한 현장 측위 정확도 분석을 실시하였다. LX GNSS 인프라는 30개소로 구성된 GNSS 관측소와 1개의 중앙운영시스템으로 구성되어 있으며, GNSS 관측소는 지사 사옥의 옥상을 이용하여 설치되었다. 설치된 관측소는 상시 운영되며, 2013년부터 2015년까지 고도화 과정을 거쳐 정밀측지용 장비로 교체하고 기반 시설물을 보강하였다. GNSS 관측소로부터 실시간으로 수집된 관측데이터는 공간정보연구원에 위치한 중앙운영시스템으로 전송된다. 중앙운영시스템은 네트워크 시스템과 모니터링 시스템, 그리고 백업시스템으로 구성되어 있다. 전송된 원시 관측데이터는 먼저 네트워크시스템에서 네트워크 RTK 보정정보를 생성 후 서비스하며, 모니터링시스템으로 전송되어 RINEX로 변환 후 TEQC와 GIPSY-OASIS를 이용하여 분석된다. 분석은 관측데이터 품질과 관측소별 정밀좌표 모니터링으로 실시되며 결과물은 도식화 되어 운영자가 쉽게 현황을 파악할 수 있도록 구현되었다. 수집된 원시관측데이터와 RINEX, 그리고 분석 자료는 백업시스템으로 전송되어 각종 데이터 손실이 없도록 저장하도록 구축되었다. 다음으로 LX GNSS 네트워크 RTK 서비스를 이용하여 현장 측량 성능을 분석하였다. 실험은 전주, 서울, 인천 등에 설치된 25개 지적도근점을 대상으로 실시되었으며, 네트워크 RTK를 이용한 좌표와 고시좌표를 서로 비교하였다. 또한 네트워크 RTK는 한국국토정보공사 공간정보연구원에서 서비스하는 MAC과 국토지리정보원의 VRS를 이용하여 상호 비교하였다. 그 결과 LX MAC과 국토지리정보원 VRS 모두 ±5 cm 범위에서 오차가 발생하였으며, 평균오차와 표준편차 역시 두 시스템이 1~2 cm 수준에서 유사한 성능을 보였다.

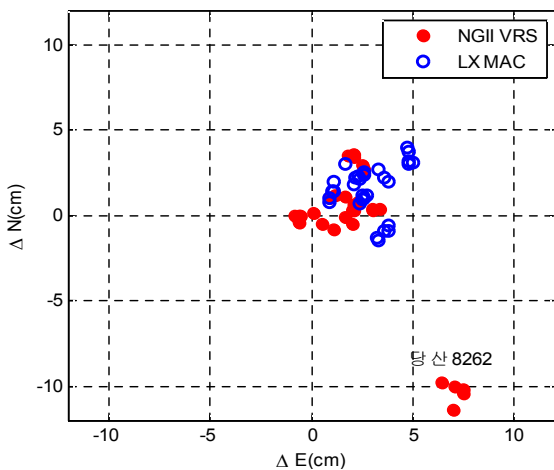


그림 10. 고시좌표에 대한 네트워크 RTK 좌표 차이 (2차 실험)

Fig. 10. Horizontal coordinates differences between announce coordinates of cadastral topographic control points and network RTKs (second field test).

참고 문헌

[1] B. Park, D. K. Cha, J. M. Lee, and H. S. Lee: A study on efficiency improvement of GPS surveying, Cadastral Research Institute, Seoul, Yeongu 2011-01, 2011.
 [2] S. G. Kang, J. Ha, W. S. Jung, J. M. Lee, and H. H. Kim, A study on effect analysis of error correction models for

- improvement of GPS positioning accuracy, Spatial Information Research Institute, Seoul, Gibon 2013-04, 2013.
- [3] J. Ha, H. H. Kim, S. G. Kang, and W. S. Jung, A study on improvement and stabilization of LX GNSS network, Spatial Information Research Institute, Seoul, Gonganjeongboyen 2014-12, 2014.
- [4] J. Ha, H. H. Kim, and J. B. Kim, "Establishment of LX GNSS network and accuracy analysis of Network RTK", *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 18, No. 6, pp. 546-554, Dec. 2014.
- [5] K. D. Park, J. Ha, S. H. Kim, J. H. Won, H. I. Kim, J. Y. Lim, H. R. Kwon, J. B. Kim, and S. Y. Kim, A study on the crustal deformation of the Korean Peninsula, National Geographic Information Institute, 1-150074-000054-01, 2007.
- [6] W. S. Choi, and H. H. Yoo, "Accuracy analysis of cadastral supplementary control points by using virtual reference station-real time kinematic GPS surveying-Focused on Geoje-city", *The Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 19, No. 4, pp. 65-70, Dec. 2011.
- [7] J. S. Park, J. H. Han, J. H. Kwon, and H. S. Shin, "Accuracy analysis of FKP for public surveying and cadastral resurvey", *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 22, No. 3, pp. 23-34, Jun. 2014.



하 지 현 (Jihyun Ha)

2009년 2월 인하대학교 지리정보공학과 (공학박사)
2010년 2월~2012년 10월 항공우주연구원 선임연구원
2012년 10월~현재 한국국토정보공사 공간정보연구원 선임연구원
※관심분야 : GNSS, 위성항법, 정밀항법 등



김 현 호 (Hyun-Ho Kim)

2012년 2월 인하대학교 지리정보공학과 (공학석사)
2012년 2월~2013년 3월 기상청 국립기상연구소 연구원
2013년 4월~현재 한국국토정보공사 공간정보연구원 연구원
※관심분야 : GNSS, 위성항법, 정밀항법 등



정 완 석 (Wan-Seok, Jung)

2010년 8월 인하대학교 지리정보공학과 (공학석사)
2013년 8월 인하대학교 지리정보공학과 공학박사 수료
2012년 2월~현재 한국국토정보공사 공간정보연구원 연구원
※관심분야 : GNSS, 위성항법, 자율주행 등