

# LX대한지적공사 위성측위 인프라 구축 및 네트워크 실시간 이동측위 성능 분석

## Establishment of LX GNSS Network and Accuracy Analysis of Network Real Time Kinematic

하지현<sup>1\*</sup> · 김현호<sup>1</sup> · 김재복<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대한지적공사 공간정보연구원 기술연구실

<sup>2</sup>대한지적공사 인사부

Ji-hyun Ha<sup>1\*</sup> · Hyun-ho Kim<sup>1</sup> · Jae-bok Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Spatial Information Research Institute, LX Korea Cadastral Survey Corporation, Seoul 150-911, Korea

<sup>2</sup>Department of Human Resources, LX Korea Cadastral Survey Corporation, Jeollabuk-do 530-111, Korea

### [요 약]

대한지적공사 공간정보연구원에서는 네트워크 RTK의 효율성을 향상시키기 위하여 전국에 30개소의 LX 위성측위 인프라를 구축하고 MAC기반의 네트워크 RTK 서비스를 시험운영하고 있다. 본 논문에서는 LX 위성측위 인프라의 구축 현황을 소개하고 MAC기반의 네트워크 RTK 서비스의 측위 성능 분석 결과를 기술하였다. 성능 분석을 위하여 임시 고정점을 설치하고 국토지리정보원의 VRS와 동시관측을 실시하였다. 그 결과 두 인프라는 동서, 남북 방향으로 평균 1~2 ± 1 cm 차이를 보였으며, 초기화 시간도 10초 이내에서 근소한 차이를 보였다.

### [Abstract]

For improvement of network RTK performance in survey field, Spatial Information Research Institute (SIRI), LX Korea Cadastral Survey Corporation installed 30 GNSS permanent stations in Korea Peninsula, and has been running the MAC-based network RTK service as a test version. In this paper, we introduce the LX GNSS network and analyze the positioning accuracy of the LX MAC RTK service. For field test of the LX MAC RTK service, we installed temporarily fixed anchor points and observed simultaneously with VRS of National Geographic Information Institute. As a result, the horizontal position differences and initial times of LX MAC with respect to NGII VRS are 1~2 ± 1 cm and <10 seconds, respectively.

**Key word** : Global navigation satellite system, GNSS network, Network real time kinematic, Master auxiliary correction.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.6.546>



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 14 October 2014; Revised 24 November 2014  
Accepted (Publication) 8 December 2014 (30 December 2014)

\*Corresponding Author, Ji-hyun Ha

Tel: +82-2-3774-2355

E-mail: hajh@lx.or.kr

## I. 서론

국내에서는 1980년대 말부터 GPS(global positioning system)가 도입되었다. 1990년대에 한국천문연구원에서 최초로 GPS 상시관측소를 설치한 이후 국토지리정보원, 해양수산부 위성항법중앙사무소, 서울특별시, 기상청 등에서 약 200여 개소의 GPS 상시관측소를 설치·운영하고 있다[1]. 국토지리정보원에서는 측지기준망 구축과 공공측량 및 지적측량을 위하여 상시관측소를 운영 중이며, 해양수산부 위성항법중앙사무소에서는 선박용 DGPS(differential GPS) 서비스를 위해 해안가와 독도를 포함한 도서 지방, 그리고 내륙에 걸쳐 상시관측소를 운영 중이다. 한국천문연구원에서는 지각운동 및 상층대기 감시 등의 목적을 위해 상시관측소를 운영하고 있으며, 한국지질자원연구원에서는 지각변동 감시 및 지진연구를 위해 한반도 활성단층 지역을 중심으로 상시관측소를 운영하고 있다. 또한 국립해양조사원에서는 국가 수직 기준면 모니터링 시스템 구축을 위하여 검조소 부지 내에 상시관측소를 구축하고 있으며, 기상청에서도 GPS기반 대기 관측, 지진 재해 관측 등의 연구를 위하여 상시관측소를 운영하고 있다.

LX 대한지적공사(이하 지적공사)에서는 2010년 발표된 『측량·수로 조사 및 지적에 관한 법률』에 의해 2021년부터 지적측량 전 분야에 세계측지좌표계(international terrestrial reference frame)가 의무화됨에 따라 GPS 도입을 적극 검토하게 되었다[2]. 현재 GPS를 이용한 지적측량 및 공간정보 취득 등 지적공사 업무에는 국토지리정보원에서 제공하고 있는 VRS(virtual reference system)기반의 네트워크 RTK(real time kinematic) 서비스를 이용하고 있다. VRS 방식은 네트워크 내에 이동국과 인접한 위치에 가상기준국을 생성하여 마치 단일 RTK를 수행하는 것과 유사한 효과를 내는 방법이다. 그러나 VRS 방식은 기준국과 이동국간 양방향 통신을 해야 하므로 통신량이 많고 동시에 접속할 수 있는 사용자 수에 제한이 있다는 단점이 있다. 따라서 측량 현장에서 통신 장애로 인해 작업 지연이 발생하거나 작업이 불가능한 현상이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다.

지적공사 공간정보연구원에서는 이와 같은 측량 현장의 문제점을 개선하고 작업 효율성을 향상시키기 위하여 2011년부터 네트워크 RTK 기반기술 연구를 시작하여 2014년 현재 MAC(master auxiliary correction) 방식의 RTK 시험운영에 들어갔다. 본 논문에서는 지적공사 공간정보연구원에서 구축한 GNSS 상시관측소(이하 LX GNSS 상시관측소)와 중앙시스템을 소개하고 MAC기반의 네트워크 RTK 성능 분석 결과를 기술한다.

## II. LX 위성측위 인프라

### 2-1 LX GNSS 상시관측소

지적공사 공간정보연구원에서는 GPS 측량 현장의 작업 효율을 향상시키기 위하여 2011년에 수도권 외곽 지역에 4개소(강화, 포천, 용인, 영흥도)의 GNSS 상시관측소를 구축하고 네트워크 RTK 시스템 기반기술을 연구하였다. 이때 사용된 장비는 기준국용 최신 장비인 Trimble사의 NetR9 수신기와 Zephyr 안테나(TRM55971.00 TZGD)였으며, 측벽에 콘크리트를 타설하여 지지대를 거치하였다(그림 1). 이후 2012년 지적재조사 사업이 본격적으로 시작됨에 따라 현장에서 GPS 수요가 급격히 증가하였으며 2012년 하반기에 26개소를 추가로 구축(그림 2)하여 전국망 성능 분석을 실시하였다. 전국망 확산에 사용된 장비는 측량 현장에서 기준국(base)용으로 사용하던 수신기(Trimble 5700)와 안테나(TRM39105.00, TRM41249.00)였으며, 자가사옥 옥상을 이용하여 전국적으로 배치되었다(그림 3).

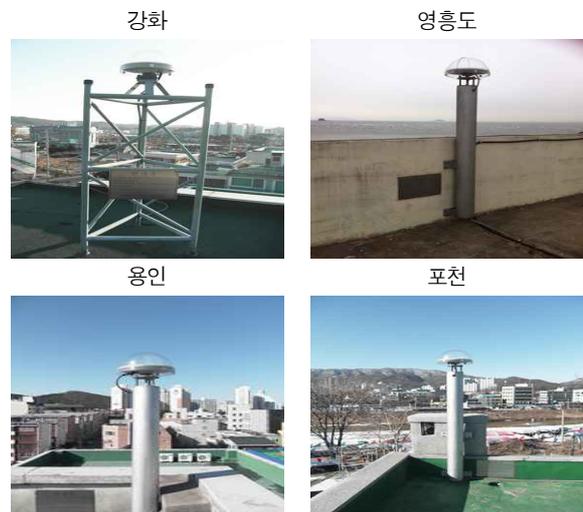


그림 1. 2011년도 LX GNSS 상시관측소 구축 모습  
Fig. 1. Installation of the LX GNSS permanent stations in 2011.

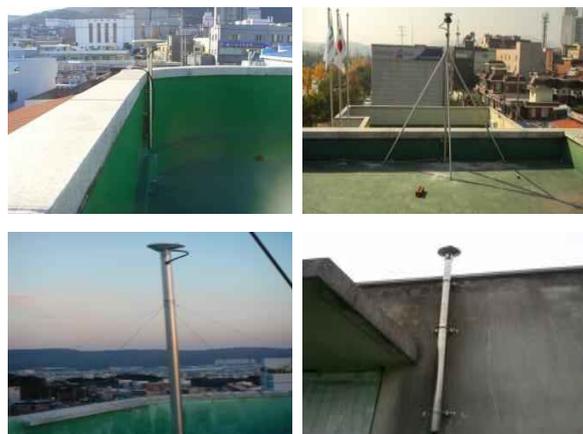
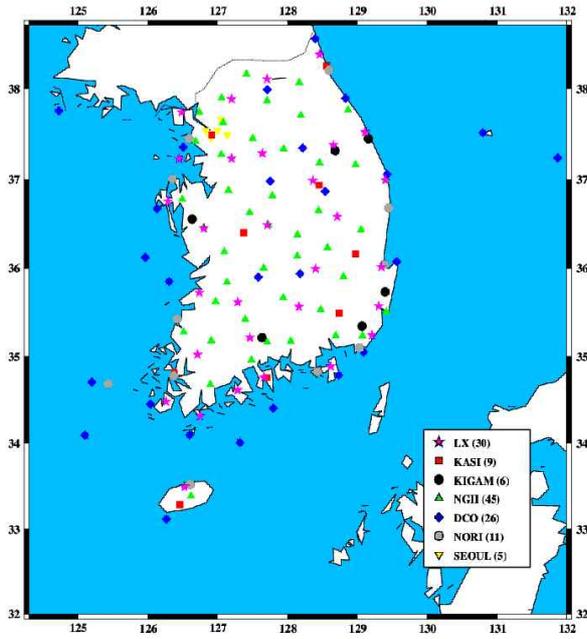


그림 2. 2012년도 LX GNSS 상시관측소 구축 모습  
Fig. 2. Installation of the LX GNSS permanent stations in 2012.



**그림 3.** 국내 GNSS 상시관측소(LX: 지적공사 공간정보연구원, KASI: 한국천문연구원, KIGAM: 한국지질자원연구원, NGII: 국토지리정보원, DCO: 해양수산부 위성항법중앙사무소, NORI: 국립해양조사원, SEOUL: 서울특별시)  
**Fig. 3.** GNSS permanent stations in South Korea(LX: LX Korea cadastral survey corp., KASI: Korea astronomy and space science institute, NGII: national geographic information institute, DCO: DGNSS central office of the ministry of oceans and fishers, NORI: Korea hydrographic and oceanographic administration, SEOUL: Seoul metropolitan government).

한편 지적공사는 2013년 1월 18일 공중과 방송사인 (주)SBS와의 MOU를 통해 GNSS(global navigation satellite system) 공동관측망 구축 사업을 추진하고 있다. GNSS 공동관측망이란 지적공사의 네트워크 RTK와 SBS의 PPP (precise point positioning) RTK 시스템을 구축하기 위하여 양 기관이 공동으로 구축·운영하는 상시관측소를 의미한다. PPP RTK란 기존의 네트워크 방식의 RTK와 달리 단독측위 기법을 기반으로 실시간 정밀 측위를 수행하는 최신 기술로, 오차 요소별로 보정정보를 생성하여 각 요소별로 전송주기를 달리하여 전송함으로써 작은 데이터량으로 높은 정확도를 달성할 수 있는 방식이다. 지적공사는 SBS와의 공동관측망 구축을 통해 2012년도에 구축된 26개 관측소를 고도화하고 최신 기술인 PPP RTK 기술 도입을 적극 검토하고 있다.

GNSS 공동관측망 구축은 2013년 2월부터 착수하였으며, 전국적으로 상세 관측환경 조사를 통해 설치 지점 이동, 장비 교체, 시설물 보강 공사 등을 진행하고 있다. 관측환경 조사는 위성 가시성 분석, 주변 개발 현황 및 계획, 시설물 노후화 등을 포



**그림 4.** LX GNSS 상시관측소 고도화 모습  
**Fig. 4.** Upgrade of the LX GNSS permanent stations.

함하여 폭넓게 평가되었다. 2014년 9월 현재, 고도화가 완료된 관측소는 총 19개소이며, 금년도 하반기부터 내년도 상반기에 걸쳐 나머지 관측소에 대한 고도화가 진행될 예정이다. 고도화에 사용된 장비는 지적공사의 네트워크 RTK 운영시스템인 SpiderNet과 SBS의 PPP-RTK 운영시스템인 GNSMART에서 호환성을 제공하는 동시에 실시간 원시 자료 수집이 가능한 기준국용 최신 GNSS 장비가 설치되었으며, 바닥에 콘크리트 블록을 타설하여 안테나 거치대를 고정하였다. 고도화 전후의 상시관측소 모습과 운영 현황을 그림 4와 표 1에 각각 나타내었다. 운영시스템에 관한 자세한 설명은 다음 절에서 기술한다.

**2-2 중앙운영시스템**

지적공사에서는 LX GNSS 상시관측소를 운영·관리하고 네트워크 RTK 서비스의 원활한 제공을 위하여 공간정보원 내에 중앙운영시스템을 구축하였다. 중앙운영시스템은 크게 네트워크 시스템과 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 네트워크 시스템은 전국의 LX GNSS 상시관측소와 네트워크로 연결하여 실시간 데이터를 수집하고 RTK 보정정보를 생성·제공한다. 모니터링 시스템은 수집된 관측데이터의 DB 구축, 인프라 이상 여부 모니터링을 수행한다. 중앙운영시스템의 구조를 그림 5에 나타내었다.

네트워크 시스템에는 네트워크 RTK 서비스 운영을 위하여 Leica사의 SpiderNet S/W가 설치되어 있으며, MAC 방식으로 보정정보를 생성하고 있다. MAC은 VRS방식의 단점을 보완한 단방향 통신 방식에 적합한 네트워크 RTK 방식으로 주(master) 기준국과 다수의 부(auxiliary) 기준국으로 네트워크로 구성한다. 중앙국에서는 주 기준국과 부 기준국에서 수집된 관측데이터를 이용하여 주 기준국의 보정정보와 주·부기준국 간의 공간이격량을 생성하며, 사용자는 사용자와 기준국 간 기하학적 관계에 따라 가중치를 두어 공간이격 오차를 보상함으로써 VRS에 비해 능동적으로 시스템을 활용할 수 있는 방식이다. MAC 방식에 대한 자세한 내용은 지면상 참고문헌[2]로 대체한다.

모니터링 시스템은 다시 백업 시스템과 자료처리 시스템으로 구분된다. 백업 시스템은 시스템의 효율성을 확보하고 데이터의 장기적인 보관과 손실방지를 위하여 구축되었다. 전국에

분포한 LX GNSS 관측소로부터 실시간 전송된 데이터는 네트워크 시스템에서 1초 epoch의 1시간 RINEX와 30초 epoch의 1일 RINEX로 구분되어 백업 시스템과 자료처리 시스템으로 각각 전송된다. RINEX가 생성되는 시점은 1시간 RINEX의 경우 매시 정각, 24시간 RINEX의 경우 매일 9시 정각에 생성되며, Unix 압축파일(\*.Z)로 저장된다. 백업 시스템에서는 네트워크 시스템으로 전송된 데이터를 1시간과 1일 데이터로 구분하여 저장하며, 자료처리 시스템에서는 전송된 데이터를 RINEX 형식에 맞도록 정리한 후 저장한다. 즉, 백업시스템에는 가공되지 않은 원시데이터가, 자료처리 시스템에는 표준화된 데이터가 저장됨으로써 백업 이중화는 물론 향후 사용자의 용도에 맞게 활용 가능하도록 하였다. 또한 자료처리 시스템에는 GNSS 데이터 처리에 반드시 필요한 궤도력을 IGS(international GNSS

services)와 JPL(jet propulsion laboratory)에서 전송받아 저장함으로써 자료처리의 효율성을 향상시키도록 하였다.

지적공사 자료처리 시스템에서는 RINEX 표준화를 위해서 TEQC(translation editing quality-checking)를 이용하였다. TEQC는 UNAVCO(University NAVstar COnsortium)에서 개발하여 무상으로 제공하는 프로그램으로 GNSS 관측데이터의 변환, 편집 및 품질평가 등을 수행할 수 있다[3]. 데이터 품질점검을 위하여 데이터 수신율과 다중경로 오차, 그리고 사이클 슬립 발생 개수를 점검하였다. 분석데이터는 30초 epoch, 1일 RINEX를 이용하였으며, GPS와 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)를 모두 분석하였다. 데이터 수신율은 관측치 수신 개수로 표현하였으며, 사이클 슬립은 1000회 관측당 발생한 사이클 슬립 개수로 나타내었다. 또한 다중경로

표 1. LX GNSS 상시관측소 현황  
Table 1. LX GNSS permanent stations.

번호	관측소명	공동관측망	수신기	안테나	비고
1	강화(KAWH)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	고도화 완료
2	화성(HSNG)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
3	용인(YOIN)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
4	포천(POCH)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
5	고성(GOSN)	O	SEPT PolaRx2e	TRM57971.00	
6	나주(NAJU)	O	SEPT PolaRx3e PRO	TRM41249.00	
7	군위(GUNW)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
8	울산(ULSN)	O	SEPT PolaRx4 PRO	TRM41249.00	
9	임실(IMSL)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
10	평창(PNCH)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
11	기장(GIJN)	X	TRM NetR9	TRM55971.00	
12	청양(CHNY)	X	TRM NetR9	TRM55971.00	
13	진도(JNDO)	X	TRM NetR9	TRM55971.00	
14	영주(YONJ)	X	TRM NetR9	TRM55971.00	
15	서천(SCHN)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
16	하동(HADN)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
17	영덕(YNDK)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
18	보은(BOUN)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
19	태안(TEAN)	O	JVD Sigma-G3T	JAVRINGANT_DM(SCIS)	
20	합천(HPCH)	O	TRM5700	TRM41249.00	
21	화천(HWCH)	O	TRM5700	TRM41249.00	
22	동해(DONH)	O	TRM5700	TRM39105.00	
23	울진(WLKN)	O	TRM5700	TRM39105.00	
24	단양(DANY)	O	TRM5700	TRM39105.00	
25	여주(YEJU)	X	TRM5700	TRM39105.00	
26	고흥(GOHN)	X	TRM5700	TRM39105.00	
27	구례(GURE)	X	TRM5700	TRM39105.00	
28	거제(GEJE)	X	TRM5700	TRM39105.00	
29	완도(WNDO)	X	TRM5700	TRM39105.00	
30	제주(CHEJ)	X	TRM5700	TRM39105.00	

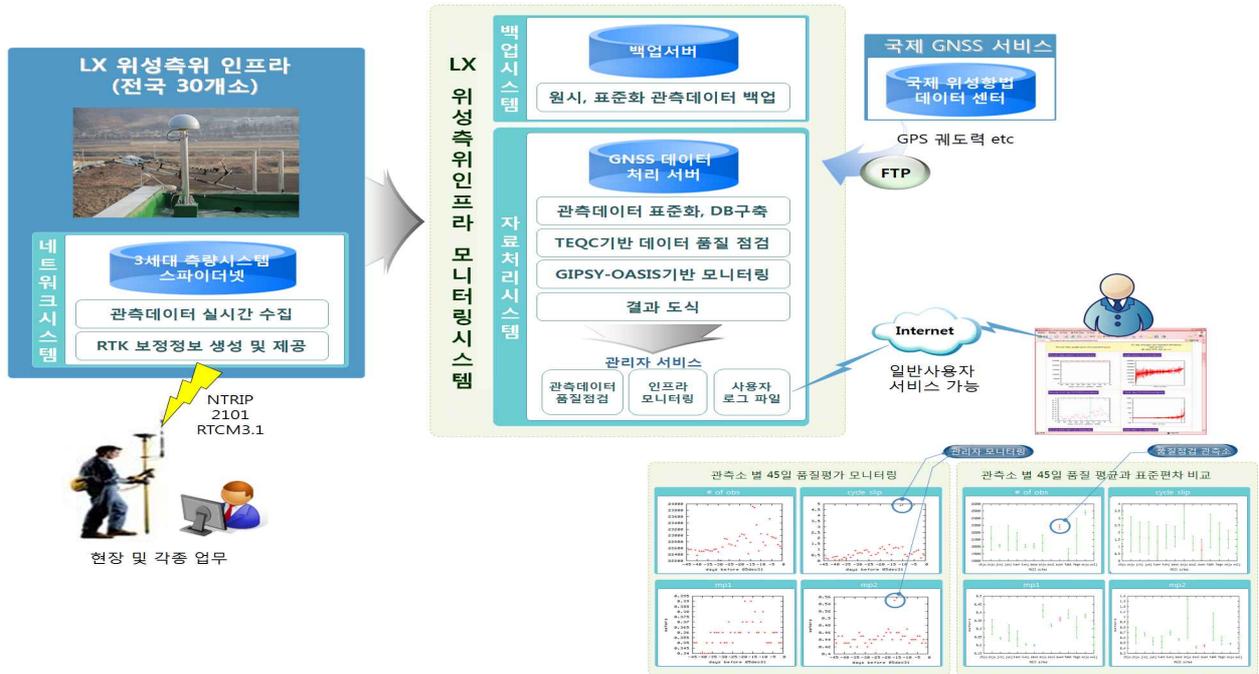


그림 5. LX GNSS 중앙시스템  
 Fig. 5. Operating system of the LX GNSS network.

오차인 MP1과 MP2는 L1, L2 주파수의 의사거리 다중경로 오차를 m 단위로 나타내었다.

품질평가 결과는 수치가 기록된 레포트와 함께 도식화를 통해 운영자의 가독성을 높이도록 하였다. 또한 결과 생성 시 과거 45일간의 분석 결과를 동시에 나타냄으로써 관리자의 판단을 용이하게 하였으며, 인터넷 서비스가 가능한 PNG 형식으로 그림을 생성함으로써 향후 홈페이지 등에서도 확인 가능하도록 하였다. 그림 6에 관측데이터의 품질점검 결과를 예시하였다. 그림 6은 2014년 5월 20일을 기준으로 과거 45일간의 품질점검 결과를 나타낸 것으로 과거 35일부터 25일전까지 데이터 수신에 이상이 없었음을 볼 수 있다. 이 경우 관리자는 이상 유무를 즉각 판단할 수 있으며, 해당 관측소를 점검할 수 있다. 실제 해당 관측소는 4월 중순부터 말까지 보수 작업으로 인하여 관측데이터가 수집되지 않았다.

다음으로 자료처리시스템에서는 관측소의 정밀좌표 모니터링을 위하여 GIPSY-OASIS (GPS inferred positioning system-orbit analysis and simulation software, 이하 GIPSY)를 이용하였다. GIPSY의 가장 큰 장점은 PPP 기법을 이용할 수 있다는 것이다. PPP는 기준점 없이 관측지점에서 수집한 데이터와 IGS 등 국제 데이터 센터에서 제공하는 정확한 궤도력을 이용하여 정밀한 위치를 산출하는 기법이다. 따라서 기선거리에 영향을 받지 않기 때문에 데이터 처리 속도도 매우 빠르다. 일반적으로 GIPSY를 이용하여 30초 epoch으로 1일간 수집된 10개의 관측 데이터를 동시 처리할 경우 소요시간이 1분 정도로 매우 신속하다.

GNSS 데이터처리에 활용되는 궤도력에는 정밀궤도력과 신

속궤도력, 초신속궤도력, 그리고 방송궤도력이 있다[4]. 본 연구에서는 관측소 별 정밀좌표 모니터링을 위하여 좌표추정치 모니터링 기법을 사용하였다[5]. 좌표추정치 모니터링 기법은, 우선 장기간 수집된 관측데이터를 정밀 처리하여 기준좌표와 속도를 결정한 후 관심 대상이 되는 시점의 예측좌표를 산출한다. 다음으로 관심 대상이 되는 시점의 관측데이터, 즉 매일 수집되는 관측데이터를 이용하여 추정좌표를 산출한 후 예측좌

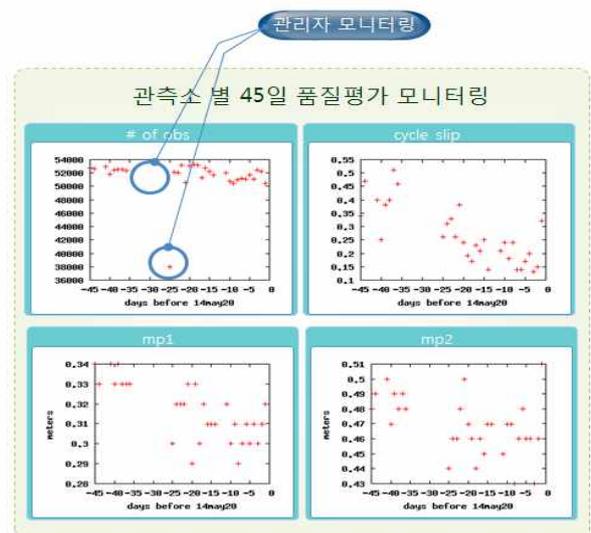


그림 6. 관측데이터 품질점검 예시  
 Fig. 6. Quality checking of GNSS data.

표와 비교함으로써 좌표의 변동폭을 모니터링 하는 방법이다.

LX 위성측위 인프라는 고도화가 최근에 이루어 졌기 때문에 관측 기간이 짧다. 따라서 본 연구에서는 2차 고도화 이후인 2014년 6월 15일부터 8월 31일까지 2.5달간 수집된 관측데이터를 이용하여 시계열을 작성하고 기준좌표와 속도, 그리고 예측 좌표를 산출하였다. 또한 9월 1일부터 수집되는 관측데이터를 이용하여 추정좌표를 산출하고 좌표 변동폭을 비교하였다. 데이터 처리 시, 기준좌표 및 속도 산출을 위하여 정밀케도력을 이용하였으며, 추정좌표 산출을 위해서는 초신속케도력을 이용하였다. 오차모델은 안테나 위상중심 변동량(phase center variation) 절대 보정 모델을 적용하였으며, 해수하중에 의한 지각변동량(ocean tidal loading displacement)은 FES2004 모델, 대류층 신호지연 오차는 a priori 건조지연과 습윤지연을 기준으

로 random walk process로 가정하고 추정하였으며[6], 수신기 시계오차는 백색잡음(white noise)으로 가정하고 추정하였다 [7]. 대류층 사상함수는 GMF(global mapping function)를 적용하였으며, 방위각 방향으로의 수증기 분포 변화량(azimuthal gradients)을 보정하고 임계고도각(elevation cutoff angle)은 10°로 하였다. 기준좌표는 관측데이터의 수집 기간 중 중간날짜인 7월 23일로 산출하였으며, 좌표계는 ITRF2008을 적용하였다.

표 2에 산출된 관측소 별 기준좌표를 나타내었으며, 그림 7에 보은(BOUN) 관측소의 시계열 작성 결과를 예시하였다. 그림 7의 가로축은 년도이며, 세로축은 위에서부터 남북, 동서, 그리고 수직 방향의 일별 좌표 변동량이다. 좌표변동량은 세로 실선이 정밀케도력으로 결정된 정밀좌표 ±3σ이며, 가로 실선이 속도로부터 산출된 예측좌표, '+'가 추정좌표이다. 시계열의

**표 2.** LX GNSS 상시관측소 좌표(ITRF2008 기준)  
**Table 2.** Coordinates of LX GNSS permanent stations(ITRF2008).

번호	설치지점	ITRF2008			GRS80		
		X(m)	Y(m)	Z(m)	Lat(°)	Lon(°)	Rad(m)
1	강화(KAWH)	-3003051.03882	4059906.27660	3883100.26033	37.74465	126.48977	48.908
2	화성(HSNG)	-3049045.32742	4071455.99603	3835251.03823	37.20117	126.82893	85.764
3	용인(YOIN)	-3074203.11797	4049925.39461	3838034.82292	37.23230	127.20128	140.094
4	포천(POCH)	-3047201.65589	4014485.58974	3895961.71161	37.89073	127.20037	135.208
5	고성(GOSN)	-3113998.20844	3920043.03201	3938650.29905	38.38029	128.46288	48.480
6	나주(NAJU)	-3126007.56246	4191756.54741	3639986.56570	35.02288	126.71378	72.405
7	군위(GUNW)	-3211078.18382	4027093.78343	3749531.04419	36.23724	128.56776	127.019
8	울산(ULSN)	-3290250.30270	4018636.61182	3690050.40093	35.57482	129.30883	219.924
9	임실(IMSL)	-3145124.34149	4129651.57091	3694078.39729	35.61917	127.29274	265.780
10	평창(PNCH)	-3152145.14431	3978050.20402	3850200.90820	37.36878	128.39276	331.758
11	기장(GIJN)	-3297091.85556	4040601.26994	3659769.51988	35.24095	129.21412	65.442
12	청양(CHNY)	-3077258.40160	4112593.52568	3768770.34302	36.45246	126.80576	131.639
13	진도(JNDO)	-3113053.96621	4243882.16701	3590625.19937	34.48153	126.26151	39.229
14	영주(YONJ)	-3191448.48751	3994642.23771	3800403.67112	36.80734	128.62249	179.956
15	서천(SCHN)	-3083624.08340	4138321.08675	3735340.83073	36.07937	126.69123	49.010
16	하동(HADN)	-3199539.36822	4132517.49339	3643758.95311	35.06457	127.74829	46.490
17	영덕(YNDK)	-3259937.68356	3972685.19859	3765153.11142	36.41245	129.37189	56.551
18	보은(BOUN)	-3140734.19034	4061375.30960	3772035.88448	36.48862	127.71542	196.364
19	태안(TEAN)	-3028384.85107	4123891.89964	3795632.49282	36.75440	126.29174	70.564
20	합천(HPCH)	-3209842.53567	4083728.11139	3689159.72345	35.56590	128.16763	72.741
21	화천(HWCH)	-3073505.56563	3975452.11762	3915162.84393	38.11019	127.70836	144.348
22	동해(DONH)	-3195111.01216	3929803.23998	3863769.89402	37.52463	129.11270	62.555
23	울진(WLKN)	-3237761.49891	3941089.47102	3816771.75254	36.99268	129.40446	46.421
24	단양(DANY)	-3166283.81222	3999515.52259	3816245.78842	36.98560	128.36749	214.765
25	여주(YEJU)	-3102736.56097	4023043.83183	3843230.44725	37.29143	127.64088	94.155
26	고흥(GOHN)	-3183644.90116	4180751.25057	3602743.61727	34.61397	127.28930	70.143
27	구례(GURE)	-3173196.57188	4140695.23294	3657437.61260	35.21518	127.46453	71.873
28	거제(GEJE)	-3269222.52403	4092237.47513	3627460.26962	34.88520	128.62079	59.055
29	완도(WNDO)	-3155427.15372	4225356.07864	3575555.51374	34.31690	126.75178	38.742
30	제주(CHEJ)	-3169316.34090	4278439.91650	3499977.19334	33.49549	126.52973	109.130

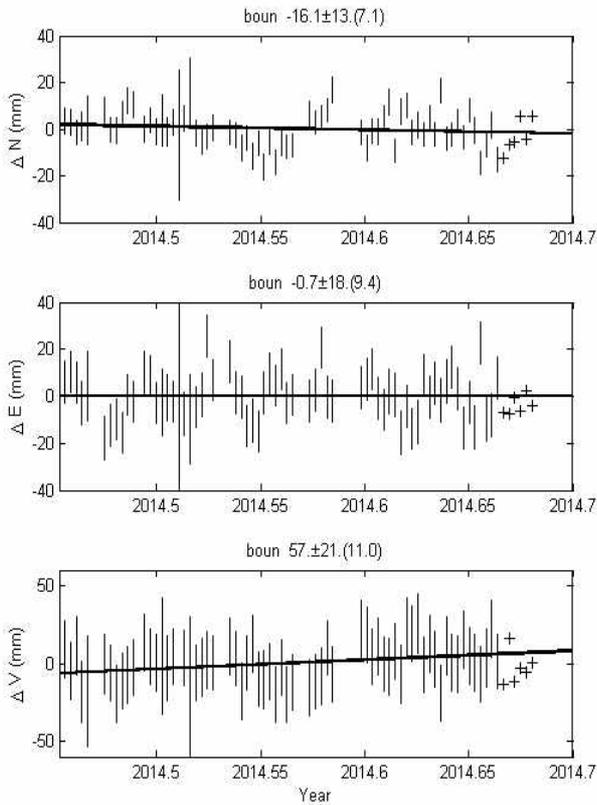


그림 7. 보은관측소의 수평((N:남북, E:동서), 수직(V) 좌표)시계열  
 Fig. 7. Horizontal(N: North-South, E: East-West) and vertical time series for BOUN.

상단에 있는 수치는 관측소명과 속도, 속도값에 대한 불확정성 (uncertainty), 그리고 제곱평균(RMS; root-mean square) 오차이다.

그림 7을 보면 보은관측소의 경우 남북 방향으로  $-16.1 \pm 13.0$  mm/yr, 동서 방향으로  $-0.7 \pm 18.0$  mm/yr, 그리고 수직방향으로  $57.0 \pm 21.0$  mm/yr의 속도가 관측되었다. 관측소 속도가 음수인 경우는 남북 방향의 경우 남쪽으로, 동서 방향의 경우 서쪽으로의 방향성을 가지는 것을 의미한다. 그림 7의 관측소 속도는 데이터 처리 기간이 짧아 중장기로 분석된 한반도 지각 변동 속도와의 차이가 있으며 불확정성도 비교적 높은 편이다. 그림 7의 수평(남북, 동서 방향), 수직 정밀좌표는 각각  $\pm 2$  cm와  $\pm 5$  cm 범위에서 관측되며, 추정좌표 역시 예측좌표에서  $\pm 2$  cm와  $\pm 5$  cm 범위 내에서 관측되어 해당 기간동안은 좌표에 이상이 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 이와 같이 관리자는 예측좌표(가로 실선)과 추정좌표(+) 간의 좌표 변동량을 비교함으로써 해당 관측소의 일별 정밀좌표 변동량을 모니터링하고 추정 좌표가 종전 시계열과 다른 경향을 보일 경우 해당 관측소를 점검할 수 있다.

### III. LX GNSS기반 네트워크 RTK 성능 검증

지적공사 공간정보연구원에서는 LX GNSS 관측망 고도화에 따라 금년도 7월부터 MAC 방식의 RTK 시험운영을 시작하였다. 이 절에서는 RTK 현장 실험 결과를 기술한다. 현장 실험은 시험 운영을 시작한 2014년 7월, 1달간 실시되었으며, 서울 여의도 일대, 경기도 여주, 그리고 인천 강화에서 수행되었다(그림 8). 성능 분석을 위하여 실험 지역에 임시 고정점을 설치하고 초기화 후 1초 간격으로 15 epoch을 1세션으로 하여 10세션씩 반복 관측을 실시하였다. 매 세션마다 초기화를 하여 초기화 시간을 측정하였으며, LX MAC과 국토지리정보원 VRS를 동시에 관측하여 지적측량에 활용되는 수평 좌표를 비교하였다. 표 3에 현장 실험 결과를 정리하였다.

표 3을 보면 초기화 시간이 VRS의 경우 대략 5-7초, MAC은 6-14초가량 소요되어 큰 차이는 없으나 MAC이 수초 수준에서 다소 긴 것으로 나타났다. 이는 두 인프라 간 성능 차이라기보다는 MAC 방식이 특성으로 판단된다. MAC 방식은 부기준국의 좌표와 보정정보도 부가적으로 수신하기 때문이다[2]. 다음으로 좌표 차이를 보면 VRS와 MAC은 동서, 남북 방향으로 평균 1-2 cm 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 RTK 측량의 오차 수준(2-3 cm)으로, 두 인프라간 달성 가능한 좌표 정확도도 유사한 수준인 것을 의미한다. 두 인프라에서 관측된 좌표와 평균좌표와의 차이를 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 가로축은 동서, 세로축은 남북방향을 의미하며 영점이 평균 좌표이다. 그림 9를 보면 VRS와 MAC 모두 평균좌표로부터 2-3cm 범위에서 변하는 것을 볼 수 있다. 따라서 표 3의 좌표 차이는 특정 인프라의 오차가 큰 것이 아니라 RTK로 달성 가능한 측량 성능인 것이다. 표 3의 표준편차를 살펴보면 VRS와 MAC의 모두 초기화 시간과 좌표에서 유사한 수준으로 나타나 두 인프라 모두 유사한 성능을 달성할 수 있음을 알 수 있다.



그림 8. 네트워크 RTK 실험 현장  
 Fig. 8. Network RTK field test.

표 3. VRS와 MAC 현장 실험 결과

Table 3. Statistics of VRS and MAC field test.

구분		평균			표준편차			차이		
		초기화 시간	좌표		초기화 시간	좌표		초기화 시간	좌표	
			N(m)	E(m)		N(cm)	E(cm)		N(cm)	E(cm)
1차 (여의도)	VRS	6.4	548156.976	193250.868	2.2	0.5	0.5	7.8	2.3	-0.2
	MAC	14.2	548156.999	193250.866	1.6	0.5	0.2			
2차 (여주)	VRS	5.6	522115.992	258246.209	1.2	1.0	0.3	0.8	1.7	1.5
	MAC	6.4	522116.009	258246.224	1.2	1.1	0.8			
3차 (강화)	VRS	6.2	556209.264	154123.109	1.2	0.4	0.5	6.9	-1.1	-1.6
	MAC	13.1	556209.254	154123.093	3.5	0.9	0.5			

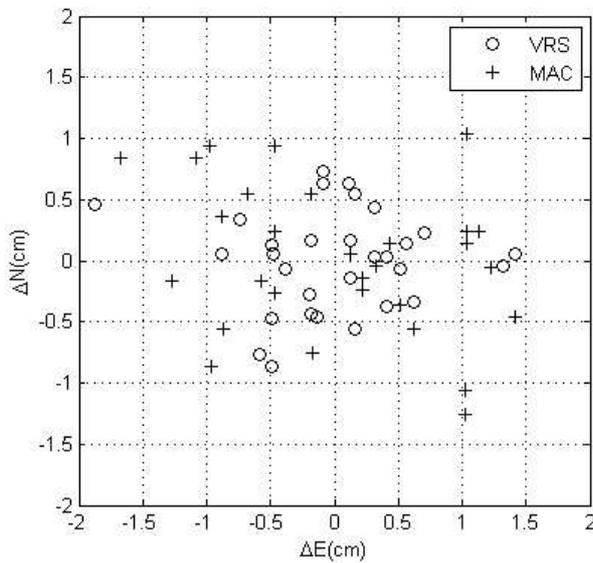


그림 9. VRS와 MAC 좌표 오차

Fig. 9. Horizontal positioning errors of VRS and MAC.

IV. 결론 및 요약

대한지적공사 공간정보연구원에서는 GPS 측량의 수요가 증가함에 따라 측량 현장의 효율성을 향상시키기 위하여 LX 위성측위 인프라를 구축하고 MAC 기반의 RTK 서비스를 실험 운영하고 있다. 본 논문에서는 LX GNSS 인프라 구축 현황과 MAC RTK 현장 측량 성능 분석 결과를 기술하였다. 성능 분석을 위하여 국토지리정보원의 VRS RTK와 동시 관측을 실시하였으며, 초기화 시간과 좌표를 비교하였다. 현장 실험은 2014년 7월, 1달간 서울, 여주, 인천 등에서 실시되었다. 성능 비교를 위하여 실험 지역에 임시로 고정점을 설치하고 반복 관측을 통해 초기화 시간과 좌표를 측정하였다. 그 결과 지적공사 MAC RTK는 VRS와 비교했을 때 초기화 시간과 좌표 오차 모두 유사한 수준으로 나타났으며, 달성 가능한 정밀도 역시 유사한 수준으로 나타났다. 본 논문에서는 서울과 경기도 인근지역

에서만 성능 분석을 실시하였다. 향후 캠페인을 통해 전국적인 성능 검증을 계획하고 있으며, 인프라 고도화가 완료된 2015년에 정식으로 RTK 서비스를 시작할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 대한지적공사 공간정보연구원 정책과제 “LX 위성측위 인프라 고도화 및 시스템 안정화 연구”의 지원에 의해 이루어 졌습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S. G. Kang, J. Ha, W. S. Jung, J. M. Lee, and H. H. Kim, Comparison of correction models for improvement of GPS positioning accuracy, Spatial Information Research Institute, Seoul, Research2013-04, p. 193, Jan. 2014.
- [2] B. Park, D. K. Tcha, J. M. Lee, and H. S. Lee, Improvement of GPS positioning efficiency for cadastral survey, Spatial Information Research Institute, Seoul, Research2011-01, p. 219, Dec. 2011.
- [3] L. H. Estey, and C. M. Meertens, “TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data,” *GPS solution*, Vol. 3, No. 1, pp. 42-49, Jul. 1999.
- [4] K.-D. Park, J. H. Cho, J. Ha, and H. C. Lim, “Rapid and accurate GPS data processing with ultra-rapid orbits,” *Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 21, No. 4, pp. 309-316, Dec. 2003.
- [5] J. Ha, K.-D. Park, P. H. Park, and H. C. Lim, “Near-real-time precise GPS data processing system,” in *Proceedings of 2003 Symposium of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Chungbuk National University: Korea, pp. 33-38, Oct. 2003.

[6] Y. E. Bar-Sever, P. A. Kroger, and J. A. Borjesson, "Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver," *Journal of Geophysical Research*, submitted, 1998.

[7] K. D. Park, Determination of glacial isostatic adjustment parameters based on precise point positioning using GPS, Ph.D. dissertation, University of Texas, Austin, TX, Jan. 2000.



**하 지 현 (Ji-Hyun Ha)**

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



**김 재 복 (Jae-Bok Kim)**

2004년 6월 경일대학교 지적측지학과 (부동산지적학석사)  
2014년 2월~현재 부산대학교 토목공학과 박사과정  
2013년 2월~2014년 2월 대한지적공사 공간정보연구원 연구기획실장  
2014년 3월~현재 대한지적공사 인사부  
※관심분야: 공간정보, 지적측지, 환경공학시스템