

# Ntrip 기반 보정서비스를 활용한 저가 GPS 수신기의 실시간 측위 정확도 평가

## Assessing the Real-time Positioning Accuracy of Low-cost GPS Receiver using NTRIP-based Augmentation Service

이용창\*

Lee, Yong Chang

### 요 旨

본 연구는 NTRIP 기반 보정서비스를 활용한 저가 GPS 수신기의 실시간 측량방법별 정적 및 동적 측위 정확도를 제시한 내용이다. 이를 위해 u-blox사의 LEA 6T GPS 수신 자료와 GNSS 상시관측소의 보정 정보를 NTRIP 캐스터를 매개로 RTKNAVI 공개용 GNSS 해석 톨에 실시간 연계하여 6가지 측량방법(Single, SBAS, DGPS, PPP, RTK, TCP/IP\_RTK)으로 위치 정확도를 비교하였다. 정적 실험모형의 적용결과, GPS L1 RTK 측량의 위치오차 평균 및 표준편차는  $N=0.002m\pm 0.001m$ ,  $E=0.004m\pm 0.001m$ ,  $h=-0.116m\pm 0.003m$ 로서 정밀상대측위 좌표에 근접한 성과를 구현할 수 있었다. 특히, 동적 실험모형에서도 도로 주변 장애물의 영향은 있지만, 모호정수가 고정된 구간의 경우, VRS Network RTK 측량 궤적에 근접한 주행궤적을 보였다. 또한, TCP/IP\_RTK 측량용 기준국을 구성하고 정적측량의 활용성을 검토하였다.

핵심용어 : L1 GPS 수신기, GNSS, NTRIP, TCP/IP\_RTK

### Abstract

This paper presents the static and kinematic positioning accuracy by the real-time GPS positioning modes of the low-cost GPS receivers using NTRIP-based augmentation service. For this, acquires both the raw measurements data of the field tests by LEA 6T GPS module of u-blox AG, and correction communication via NTRIP caster with RTKLIB as an open source program for GNSS solution. With computing the positions of the check points and road tracks by six kinds of GPS positioning modes which are Single, SBAS, DGPS, PPP, RTK, and TCP/IP\_RTK, compared these results to the reference position of the check points. The position error average and rmse of the static test by GPS L1 RTK surveying showed  $N=0.002m\pm 0.001m$ ,  $E=0.004m\pm 0.001m$  in horizontal plane, and  $h=-0.116m\pm 0.003m$  in vertical, these results are very closed to the coordinates with the geodetic receiver. Especially, in case of the kinematic test with obstacles located on both sides of road, the computed track with ambiguity fixing showed very similar trajectory considerably from VRS network RTK mode. And also, evaluate and verify the performance of the TCP/IP\_RTK mode developed based on TCP/IP protocol.

Keywords : L1 GPS Receiver, GNSS, NTRIP, TCP/IP\_RTK

## 1. 서 론

GPS SPS(Standard Positioning Service) 의사거리(pseudorange)의 오차는 평균 7.8m (95% 신뢰수준)이나 실제의 위치 정확도는 대기층 영향, 사이클슬립 및 수신기 성능 등으로 달라지며 GPS 수신기 1대만에 의한 수평위치 정확도는 평균 10m 내외 수준이다(Official

GPS, 2015). 이는 일반 응용에서는 충분하지만, m 또는 cm 급 수준의 정확도가 필요한 경우는 다수의 상시 관측소로 구성된 관측망을 활용하여 보정 정보를 산출하고 이동국에 적용하는 것이 일반적인 방법이다. RTCM-SC104(Radio Technical Committee for Maritime Service-Special Committees 104)에서는 DGPS (Differential GPS), RTK(Real Time Kinematic),

Received: 2015.06.18, revised: 2015.07.31, accepted: 2015.08.24

\* 정희원 · 인천대학교 도시과학대학 도시환경공학부 정교수(Member, Professor, Division of Urban & Environmental Engineering, College of Urban Sciences, Incheon National University, ylee@inu.ac.kr)

Network RTK 및 공간상태표현(SSR : State Space Representation) 정보를 활용한 PPP(Precise Point Positioning) RTK 측량 등의 지원을 위해 다양한 표준 전송형식(protocol)을 발전시켜 왔다(RTCM, 2010, 2011). NTRIP(Network Transport of RTCM via Internet Protocol)은 RTCM 형식으로 가공된 GNSS 자료를 인터넷을 통해 전송 및 재생이 되도록 지원하는 통신전송규약이다(BNC, 2015). 특히, HTTP(Hypertext Transfer Protocol) 기반의 공개된 전송규약으로 모바일 IP 네트워크를 통해 무선 접속도 가능하므로 이동 중인 사용자가 PC, 랩톱, PDA, 핸드폰 또는 수신기를 방송 호스트에 접속하여 GNSS 관측자료 및 보정값 정보를 실시간 사용할 수 있다. 국내에서는 (Jang et al., 2010) 등이 도로 절토사면 현황조사에 NTRIP 서비스를 이용한바 있다. 국토지리정보원(NGII, 2015)에서는 GNSS 상시관측망을 이용, NTRIP 기반의 VRS(Virtual Reference Station)와 FKP(Flächen Korrektur Parameter)를 서비스 중이다. 국립해양측위정보원(National Maritime PNT Office, 2015)에서도 GBAS(Ground Based Augmentation) 기반의 증파방송(283.5~325kHz) 및 NTRIP 기반의 DGNSS를 서비스 하고 있다. NTRIP를 활용한 공개용 GNSS 해석 툴로는 BKG(2015)의 BNC(BKG multi-functional NTRIP Client), 동경해양대학교 Takasu(2015)의 RTKLIB(Open Source Program Package for GNSS Positioning)가 대표적이다. Takasu and Yasuda(2009) 등은 RTKLIB 기반의 저가 RTK GPS 수신기를 개발한바 있다. 본 연구는 GNSS 해석센터에서 산출한 보정 정보를 NTRIP를 매개로 저가 L1 GPS 수신기에 실시간 접목시켜 Single 측량외에 5가지 측량방법(SBAS, DGPS, PPP, RTK, TCP/IP\_RTK)으로 정적 및 동적측량에 적용하고 각 방법 별 위치 정확도를 비교·평가한 내용이다. 이를 위하여 GPS 수신기는 관측 원시 자료의 출력이 가능한 수신기 중, 30만원(\$349, 2015년 기준)대의 u-blox 사, LEA 6T로 선정하였다. 또한, NTRIP 통신전송규약의 해독, 표준/정밀 실시간 및 사후처리가 가능한 공개용 툴(RTKLIB version 2.4.2의 RTKNAVI)을 사용하여 다양한 측량방법으로 정적 및 동적 실험을 수행한 후, 저가 GPS 수신기의 실시간 위치 정확도를 비교·고찰하였다.

## 2. 연구 방법

NTRIP은 RTCM 표준 통신보정규약에 최적화된 DGNSS 보정정보의 전달매체로서 인터넷을 통해 측량

에 접목할 경우, 위치정확도의 향상이 기대된다. 단독 측위(single point positioning, 'Single')외에 MSAS(MTSAT Satellite based Augmentation System) 위성의 SBAS 보정규약을 활용하면 위성기반 DGPS, GNSS 해석센터로부터 NTRIP를 통해 RTCM 버전 2.0을 접목할 경우는 코드기반의 DGPS, 버전 2.3은 L1 RTK 측량, 버전 3.0은 Network RTK, 버전 3.1은 위성궤도 및 시계 보정값 보정에 의한 PPP\_RTK가 수행된다. 또한, TCP/IP(Transmission Protocol and Internet Protocol) 기반의 RTK 용 기준국 시스템을 활용할 경우, TCP/IP\_RTK 측량이 가능하다. LEA 6T(u-blox AG, 2015b)는 50 channels, GPS L1 C/A code 수신기로 u-blox 사의 2진 통신보정규약(관측 원 자료 : UBXRXM-RAW, 위성궤도력 : UBXRXM-SFRB)외에 NMEA(National Marine Electronics Association) 및 RTCM과도 호환된다. 특히 UBXRXM-RAW에는 1/2 cycle로 모호정수가 해석된 반송파 위상, 코드 및 도플러 관측값이 제공되므로 정밀측위, 실시간 동적측량 및 자세 결정 등에 응용될 수 있다. RTKNAVI는 다양한 실시간 측량이 가능하여 수신기와 인터페이스(시리얼 포트, NTRIP IP, 이용자 ID 및 패스워드 등) 설정 후, 실험 모형에 대해 측량방법 별로 실시간 위치 정확도를 비교·평가하였다. 실시간 정적 및 동적측량을 위한 기준국 자료는 이동국의 NMEA정보를 국토지리정보원 해석센터에 전송하여 가장 근접한 기준점을 자동 선점하는 방식과 LEA 6T 수신기 2대 중, 1대를 TCP/IP 통신전송규약과 GNSS surfer(BKG, 2015)을 사용하여 기준국으로 설정한 후, 이동국으로 기준국의 자료를 전송하는 방식을 활용하였다. GPS 보정정보는 국토지리정보원의 VRS 및 국립해양측위정보원의 DGPS 서비스를 활용하였다. 특히, PPP 측위에서 위성 궤도력 및 시계 보정정보는 IGS(IGS RT service, 2015) 산하, 중국 CLK16(mount point ID)해석센터의 보정서비스(RTCM 3.1, types 1059 및 1060)를 이용하였다. RTKNAVI에 LEA 6T GPS 수신기 및 NTRIP 보정값을 연동하여 각 실험모형에 적용하고 앞서 기술한 6가지 측량방법에 의한 검사점의 위치 및 동선의 이동 궤적을 정밀측지측량성과 및 VRS 궤적을 기준으로 비교·분석하였다.

## 3. RTKLIB 측위 알고리즘

RTKLIB 툴의 RTK GPS 측위 알고리즘은 기준국과 이동국에 대한 반송파 위상 및 코드 거리의 상대측위에 기반한다(Takasu, 2015). 특히, 정적, 동적 및 DGPS

측량방법으로 10km 이하의 단 기선을 해석할 경우, 1 중 차분 모호수(Float Ambiguity, 'FA')해와 공분산 행렬식을 이중 차분식 형태로 변환한 후, 최소제곱법으로 해석한다. 표준 확장 칼만필터링(standard EKF ; Extended Kalman Filtering)에 기본을 둔 LAMBDA (Teunissen, 1995) 및 MLAMBDA (Chang et al., 2005) 기법을 적용하고 제한조건(0.001 cycle)를 만족하는 후보군을 비율판정법으로 검토하여 최종 정수해 (fix solution)를 결정하였다. 모호정수의 비율판정은 식(1)과 같이 '1순위 해를 기준으로 2 순위 해의 잔차 제곱합'의 비율('R-비')을 허용값( $R_{thres}=3.0$ ) 대비, 초과할 경우, float solution으로 판정하였다.

$$R = \frac{(\tilde{N}_2 - \hat{N})^T Q_N^{-1} (\tilde{N}_2 - \hat{N})}{(\tilde{N} - \hat{N})^T Q_N^{-1} (\tilde{N} - \hat{N})} > R_{thres} \quad \text{--- (1)}$$

- $\hat{N}$ : best IA
- $\tilde{N}$ : most appropriate IA
- $\tilde{N}_2$ : second best IA
- $Q_N$ : covariance of the IA
- $R_{thres}$ : validation threshold (default= 3.0)

#### 4. 관측 및 자료처리

실험모형은 옥상에 Fig. 1과 같이 정적 측량용 검사점(check point, 'CP') 2점(CP.1, CP.2), 동적측량은 '도보'용 및 '차량주행'용 노선(track)으로 각각 구성하였다. 검사점의 '정밀측지측량' 좌표는 Trimble R8 수신기 2대를 epoch=30초, 2015년 5월 5일 1개 세션(PM 5시~8시, UTC)으로 관측하고 인천, 수원 및 팔미도 상시관측소 자료와 조합, TBC(Trimble Business Center) 소프트웨어로부터 결정하였다. Fig. 1의 'L'자 선형은 약 51m의 '도보'용 동적측량 노선이며 배경은 IMAGINE

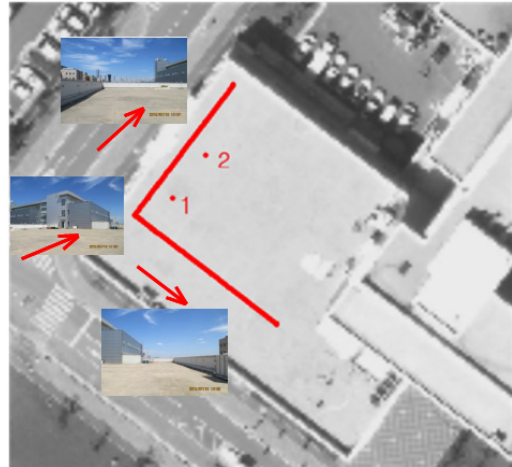


Figure 1. Check points(CP.1, CP.2) and kinematic surveying route (the shape of a 'L') on the building roof



Figure 2. EVK LEA 6T receiver and antenna

Table 1. Communication protocols, client options(caster, mount point, and RTCM versions) of streams link via ports in surveying modes

Surveying modes	Protocol	Client options			
		Caster host	Mount point ID	RTCM version	Port
Single	.	.	.	.	.
SBAS DGPS	SBAS	MSAS(129, 137)	MTSAT	.	.
GBAS DGPS	NTRIP client	NTRIP.ndgps.go.kr	CCHN	2.3	2101
RTK	NTRIP client	vrs3.ngii.go.kr	SB_auto selection	3.0	2101
PPP	NTRIP client	products.igs-ip.net	CLK16	3.1	2101
TCP/IP_RTK	TCP/IP client	117.16.231.122	INU	.	2101

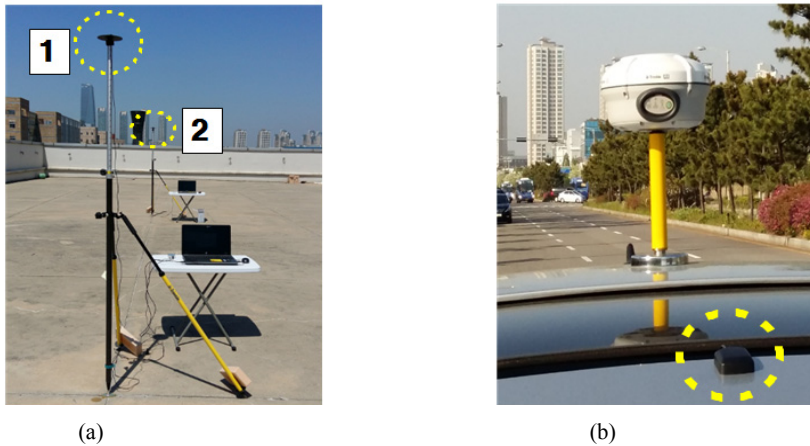


Figure 3. LEA 6T patch antennas setup on the pole mountable ground plane for static surveying on the building roof 3(a), a R8 GNSS receiver and a u-blox patch antenna setup on the car roof for kinematic surveying 3(b)

photogrammetry로 작업한 정사영상지도(GSD=10cm)를 RTKNAVI에 탑재하였다. 내부사진은 화살표방향의 주변 전경이다. ‘차량주행’용 노선은 캠퍼스 외곽의 ‘口’자형 노선으로 선정하였다(Fig. 8). Fig. 2는 u-blox 사, LEA 6T GPS 수신기와 안테나이다. LEA 6T 수신 자료를 RTKNAVI로 전송하기 위해 u-blox의 U-center(u-blox AG, 2015a) 툴을 활용하여 u-blox 규약(UBX)기반, 관측자료(RXM-RAW)와 항법메세지(RXM-SFRB) 정보의 입·출력 인터페이스를 설정하였다. Table 1은 RTKNAVI의 6가지 측량방법에 적용한 NTRIP 캐스터, 관측소의 mount point ID 및 RTCM 버전을 요약한 것이다. 3가지 실험모형에 대한 정적관측(5월 14일 01~07시, 5월 18일 11~14시, UTC) 및 동적관측(5월 16일, 00~12시, UTC)을 측량방법 별로 각각 수행하였다. 다중경로오차를 최소화하기 위해 검사점(CP.1, CP.2)에서 동측 인접 건물의 최대 고도각을 감안하여 2m 폴 상, ground plane에 LEA 6T 안테나를 설치하였다. Fig. 3(a)는 RTK에 의한 정적측량(기준국 : 인천, 이동국 : CP.2) 및 TCP/IP\_RTK 정적측량(기준국 : CP.2, 이동국 : CP.1) 수행모습이다. ‘도보’용 동적측량은 안테나와 노트북을 1조로 ‘L’자형 노선을 따라 평균 속도 0.4m/s로 이동하면서 1초 간격으로 측량하였다. Fig. 3(b)는 ‘차량주행’용 동적측량을 위해 차량 지붕에 설치한 R8 일체형 수신기와 LEA 6T 안테나 모습(점선 원형)이며 두 안테나 중심간 수평거리는 약 80cm, patch 안테나와 보조 폴에 장착된 R8 안테나 간의 높이차는 약 28cm이다. DGPS 측량용 기준국은 도서관 통신문제로 미세한 신호 단절이 있는 팔미도 기준국(실

험 장소로부터 6.7km 떨어진 팔미도 위치)을 사용하지 않고 NTRIP 연동이 가능한 내륙 기준국 중, 가장 근접한(117.8km) 춘천 기준국(mount point=CCHN\_RTCM 23)의 보정자료를 활용하였다. RTK 측량용 기준국은 이동국의 NMEA를 국토지리정보원 서버로 전송하여 약 7km 떨어진 인천 상시관측소로 자동 선정(SB\_Auto Selection-RTCM31)하였다. PPP 측량용 보정값은 CLK16, TCP/IP\_RTK 측량용 기준국은 고정 IP에 2101 포트를 개방하고 GNSS surfer 툴을 활용·운영하였다. 차량의 평균 속도는 20~25km/h로 이동하면서 1초 간격으로 자료를 취득하였다.

## 5. 비교분석

3가지 실험모형에 대해 RTKNAVI로 부터 검사점의 위치와 동선의 궤적을 구하고 측량방법별로 TM 지도좌표, 타원체고 및 동선의 궤적 분포를 비교 분석하였다.

### 5.1 정적측량 방법별 검사점의 위치정확도

Table 2는 CP.1 and CP.2의 ‘정밀측지측량’ 성과표이다. Table 3은 LEA 6T수신기를 활용한 6가지 측량방법의 정적측량 결과이다. Fig. 4 and Fig. 5는 측량작업의 시차는 있지만 6가지 측량방법의 epoch 별 검사점의 평면위치분포 및 수직위치의 편차를 나타낸다. Fig. 4(a)에서 삼각형(▲)분포는 RTK로 검사점 1의 모호정수 해석 진행과정(single → float → fix)에 의한 것으로 좌하단(single, float 해)에서 중앙부(fix 해)로 수렴되는 분포를 보였다. 또한 역 삼각형(▽)분포는

Table 2. The Coordinates of check points(CP.1, CP.2) computed by CORS relative surveying and VRS Network RTK surveying

Elements	$\varphi(^{\circ} \prime \prime)$	$\lambda(^{\circ} \prime \prime)$	h(m)	N(m)	E(m)
St. 1	37-22-21.9028	126-37-59.4193	39.492	530444.396	167508.050
St. 2	37-22-22.1116	126-37-59.6186	39.495	530450.816	167512.980

Table 3. Statical analysis of real time point positioning at check points by six kinds of real time surveying modes, ('COEA' = 20°)

Methods Elements	Single	SBAS	DGPS	PPP	RTK	TCP/IP_ RTK
Ave. satellite number	7	6	8	8	6	6
PDOP	2.4	3.5	2.1	2.0	2.7	3.2
N±σN(m)	0.831±0.961	1.001±1.467	0.188±0.704	2.080±0.134	-0.022±0.294	-0.545±0.388
E±σE(m)	1.117±0.779	0.075±0.929	0.121±0.576	1.748±0.304	0.100±0.268	-0.292±0.311
h±σh(m)	1.074±1.722	-2.999±4.466	-0.144±2.247	3.423±0.390	0.031±1.042	1.201±0.838
The position error average and rmse(±σ) after ambiguity fixing solution (m)				N±σN	0.002±0.001	-0.332±0.003
				E±σE	0.004±0.001	-0.122±0.007
				h±σh	-0.116±0.003	0.729±0.005

PPP측량 결과로 RTK와 PPP 수렴점 간 거리의 편차가 약 3m로 큰 편차를 보였는데 'CLK16' 광역 보정계수의 적합성 문제 및 저가 L1 GPS 수신기를 활용한 점으로 분석된다. Fig. 4(b)는 검사점 2의 TCP/IP\_RTK 측량의 모호정수 해석과정에 따른 이동분포로 상단(single 해)에서 좌하단(float 해) 및 중앙부(fix 해)로 점차 수렴되는 경향을 나타내었다. Table 3 and Fig. 4와 같이 6가지 측량 방법 중, 가장 양호한 3차원 위치 정확도는 RTK로 반송파의 모호 정수화(Integer Ambiguity Fixing : 'IAF')작업에 7분 18초가 소요되

었으나 위치오차의 평균 및 표준편차는 N=0.002m ±0.001m, E=0.004m±0.001m, h=-0.116m±0.003m 로서 정밀측지측량 좌표에 근접한 성과로 구할 수 있었고 다음으로 DGPS, SBAS, Single 순으로 나타났다. 특히, Fig. 4(b)의 TCP/IP\_RTK의 경우, 모호정수는 RTK에 비해 47초 일찍 해석되었지만, 수평 및 수직 위치에서 편차가 크게 나타났다. 그 원인으로 RTK 측량의 경우는 INCH 상시관측소가 제공하는 기준국의 관측값은 물론 보정값이 포함된 NTRIP 정보를 활용하는 반면, TCP/IP\_RTK는 TCP/IP 프로토콜로 부터 기준국의 관

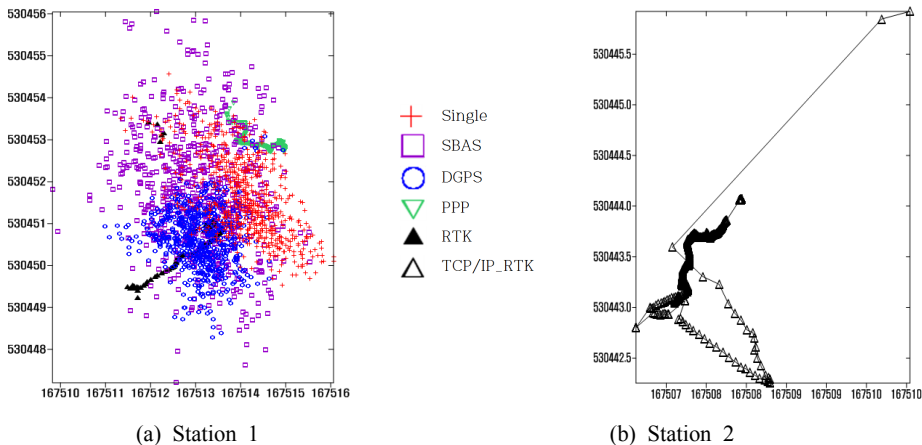


Figure 4. Horizontal position distributions of the stations by six kinds of real time static surveying modes (Left : CP.2, Right : CP.1 in case of TCP/IP RTK)

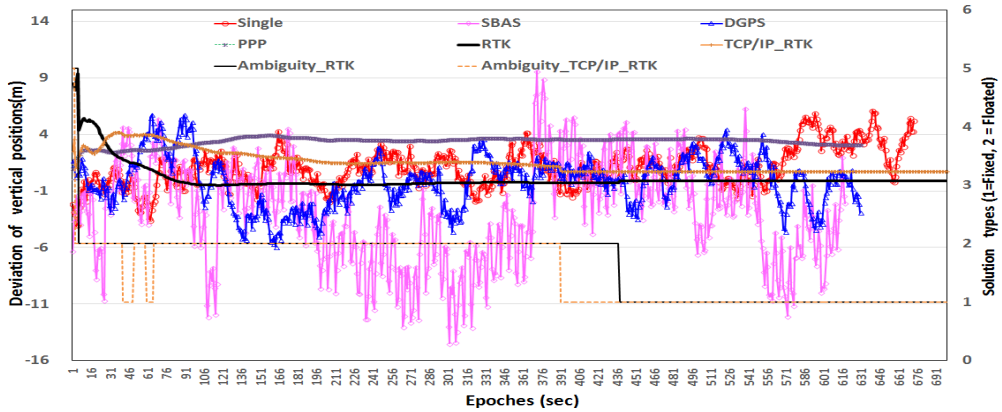


Figure 5. Deviation distributions of vertical position of the stations by six kinds of real time static surveying modes, and IAF solution types patterns(Q=1 : fix, 2 : float) of RTK and TCP/IP RTK surveying modes

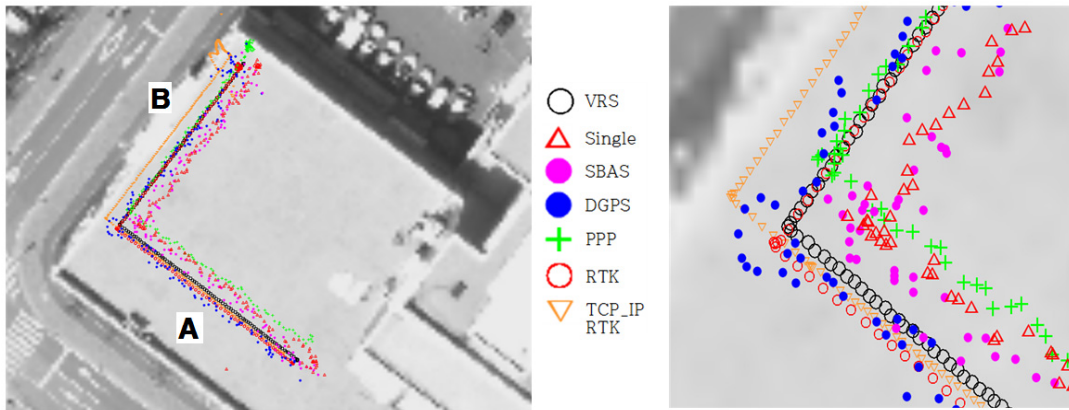


Figure 6. Horizontal position distributions of roof's track by six kinds of real time kinematic surveying modes

측자료 만을 수신 해석한 결과 때문으로 분석된다. 수직 위치의 편차 변화는 RTK, TCP/IP\_RTK, PPP 측량과 같이 반송파 위상을 이용하는 경우가 코드만을 이용하는 측량에 비해 양호한 분포를 보였다.

**5.2 동적측량 방법별 도보용 동선의 위치정확도**

Fig. 6은 옥상 'L'자 선형의 6가지 동적측량에 의한 평면 궤적분포를 나타낸 것이다. 이동 중, IAF 비율은 RTK(100% fix), TCP/IP(98.4% fix)로 나타났다. VRS 궤적을 기준으로 Single, SBAS, 및 DGPS 측량에 의한 궤적을 비교 검토하면 평균 약 ±2m, ±1.3m 및 ±1m의 평면위치 편차를 보였다. 반면, 반송파 위상을 활용하는 RTK 측량의 경우, 궤적의 B부분은 거의 일치한 반면, A부분은 평균 약 60cm의 일률적인 편차가 나타났다. 또한, PPP 경우에서도 B에서는 약 40cm의 편차를

보인 반면, A에서는 약 2.0m의 편차를 보였다. 전환점을 기준으로 RTK, TCP/IP\_RTK 및 PPP의 편차 원인으로 관측 시간차(GPST 5.16일 1:45: 43, 4:27:46, 및 02:29:12), 초기화 소요시간(113초, 130초 및 해당 없음)과 모호정수의 정확도 수준(R-비), 평균 위성 대수(6대, 5대 및 7대), PDOP(2.7, 4.3 및 3.1)의 차이 및 수신기 안테나의 회전 및 위성 안테나의 상대운동에 의한 반송파 위상의 wind\_up 영향에 기인된 것으로 분석된다. Fig. 6의 Single, SBAS 및 DGPS 궤적 결과에서 확인할 수 있듯이 반송파 위상의 wind\_up은 code와는 무관하며 안테나가 1회전 할 경우 위상에서 약 1cycle의 변동(GPS L1의 경우 약 19cm)이 발생되지만, 모호정수의 정확도(R-비)가 낮고 이동국 수신기 안테나의 요동이 있는 경우, 좀 더 큰 오차가 특정방향으로 나타날 수 있다. 수직위치의 경우, VRS성차(39.473m±

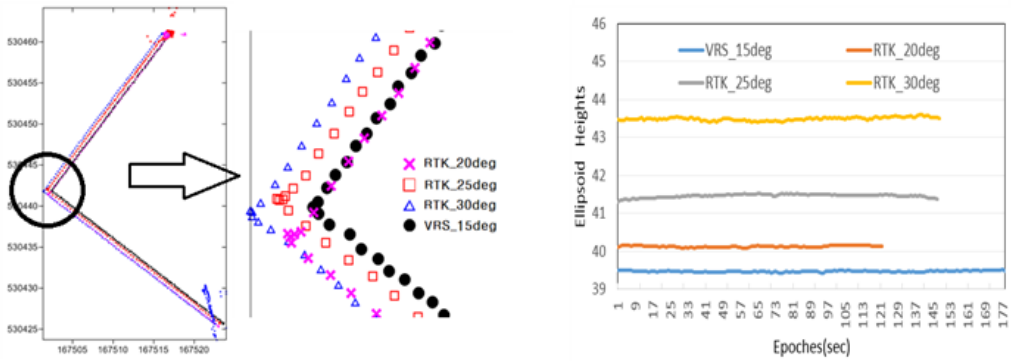


Figure 7. Horizontal and vertical position distributions of the track on the roof by three kinds of RTK modes and VRS mode with changing of satellite signal cut off elevation angle(COEA)

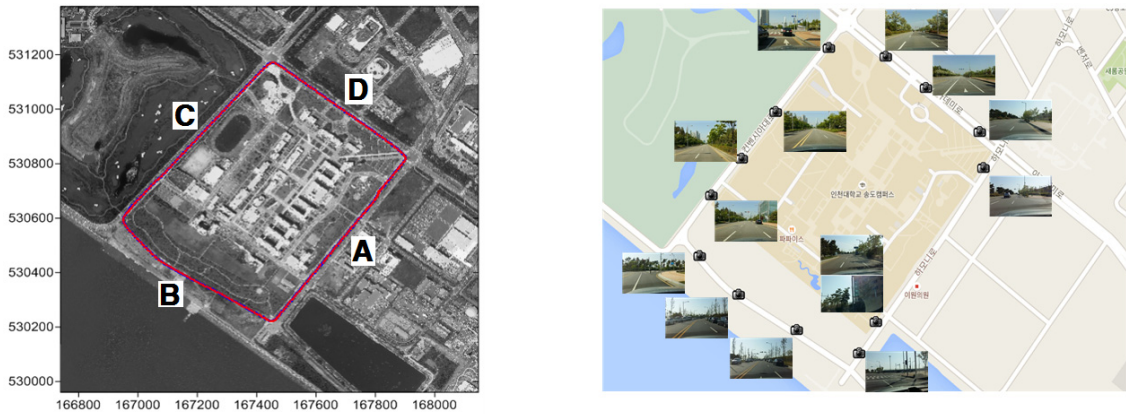


Figure 8. Road track surveyed by LEA 6T RTK kinematic surveying mode and obstacles presentation of both sides of route

0.019m)에 근접한 측량방법은 RTK ( $39.926\text{m} \pm 0.442\text{m}$ )였고 다른 측량방법에서는 2m 이상의 편차를 보였다. Fig. 7은 평면위치 및 수직위치의 분포를 나타낸 것이다. VRS 측량 결과를 기준으로 이동궤적 수평분포 중, 'A'/'B'구간의 편차평균은 RTK\_20°, RTK\_25° 및 RTK\_30°에서 각각 60cm/0cm, 25cm/41cm, 및 30cm/70cm로 분석되었다. 또한, 옥상슬래브의 수직위치 평균은 VRS, RTK\_20°, RTK\_25° 및 RTK\_30°에서 각각 39.475m, 40.129m, 41.466m, 43.495m로 나타났고 평균 이동속도는 29cm/s, 44cm/s, 37cm/s 및 36cm/s였다(수직위치 분포 길이가 짧은 것은 속도가 빠른 경우 임). 따라서, COEA가 높아짐에 따라 IAF 결정시간은 단축되었지만, 해석용 위성 대수가 감소되어 위치정확도가 저하되는 경향을 확인할 수 있었다.

### 5.3 동적측량 방법별 차량 동선의 위치 정확도

Fig. 8은 LEA 6T 수신기와 R8 GNSS 수신기를 Fig. 3(b)와 같이 차량 지붕에 설치하고 동일 시간대 별로 VRS 측량과 6가지 개별 측량을 1조로 구성하여 취득한 6가지 차량주행궤적과 세부 구간 명칭(A, B, C, D) 및 도로 주변의 장애물 현황을 나타낸 것이다. 구간 별로 도로 폭/장애물 현황은 A구간(편도 3차로/양호), B구간(편도 1파로/높이 5m이상 가로수가 평균 10m 간격 식재 상태), C구간(편도 1차로/도로 양측에 골프장 시설, 3m이내 가로수 식재 상태), D구간(편도 3차로/양호)인 상태이다. 각 주행 궤적은 도로 상황에 따라 주행차선 및 이동 속도가 다르고 축척으로 동선 구별의 한계가 있어 궤적 간의 직접적인 비교는 제외하였다. 수평좌표(N, E) 또한, 주행 구간(A~D)에 따라 변동되므로 비교 대상으로 적합하지 않았다. 본 연구에서는 VRS 측

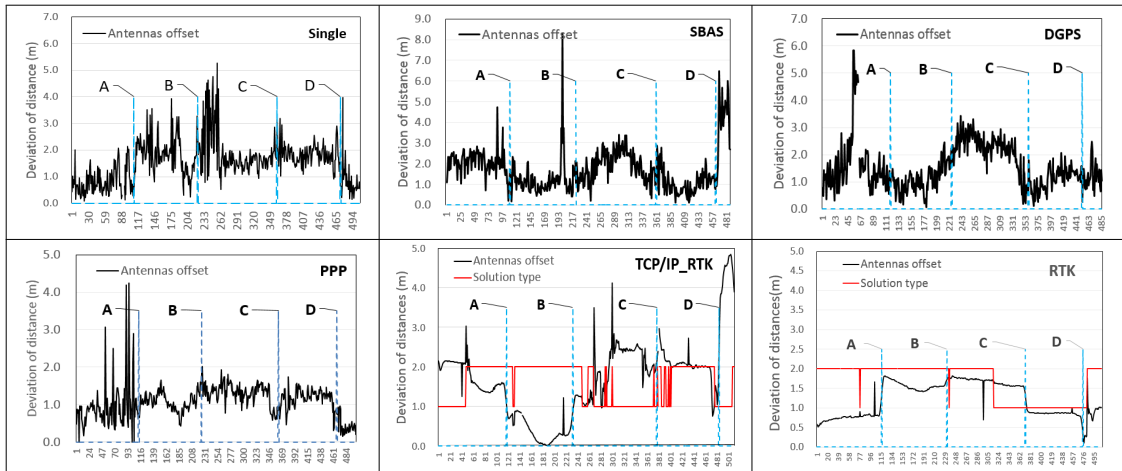


Figure 9. The comparison of RTK tracking results between VRS and LEA 6T per epoches by six kinds of real time kinematic surveying methods in case of road tracking

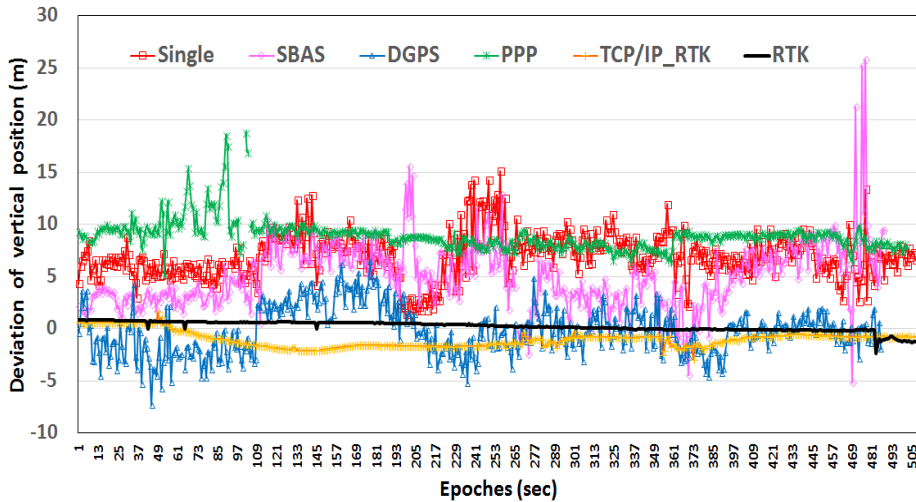


Figure 10. The distribution of deviation between VRS and LEA 6T antennas heights on the road tracking by six kinds of real time kinematic surveying modes

량과 LEA 6T 수신 궤적을 비교하기 위해 차량 지붕에 설치된 두 안테나의 간격(antennas offset, 약 80cm) 및 높이차(약 28cm)를 선정하였다. LEA 6T를 활용한 이동 궤적이 양호하다면 각 epoch 간격마다 안테나 중심 간 수평거리 및 높이차의 편차와 변화량은 작고 일정한 분포를 보이게 된다. Fig. 9는 VRS 측량과 6가지 측량 방법에 의한 두 안테나 중심 간격의 편차분포 및 통계 분석표이다. 두 안테나 간격을 분석하면, 6가지 LEA 6T를 활용한 주행궤적 중, VRS 측량결과에 가장 근접한 주행궤적은 TCP/IP\_RTK, PPP, RTK 순으로 평균 ±1m 내외의 편차가 나타났다. 특히, RTK 측량에서 보

호정수가 고정된 D 구간의 경우, VRS 궤적에 근접한 결과를 보였고 다른 측량방법에 비해 일률적인 궤적을 보였다. 또한, PPP 측량을 제외한 5가지 LEA 6T 수신기에 의한 궤적에서 공통적으로 C 구간의 편차와 폭이 크게 나타났는데 4개 구간 중, 도로 주변 장애물이 가장 많은 영향으로 분석된다. DGPS와 PPP의 경우는 A 구간에서 큰 변동을 보였는데 보정값의 순간 단절, 보정값의 적합성과 품질에 따른 영향으로 분석된다. Fig. 10은 VRS 측량결과를 기준으로 6가지 측량방법의 안테나 간, 높이의 편차 분포를 나타낸 것이다. 차량 동선의 전 구간에서 수직위치의 오차가 약 28cm 전·후로



나타난 것은 DGPS 및 RTK 측량 결과였다. 그러나 DGPS 측량의 경우, 편차 폭이 큰 상태이므로 VRS 궤적에 근접하며 일률적인 결과는 RTK 측량의 주행 궤적에서 확인할 수 있었다.

## 6. 결론

본 연구는 정적 및 동적 GPS 측량에 LEA 6T GPS 수신기와 NTRIP 기반의 보정 정보를 활용하여 RTKLIB에 연계 해석하고 ‘정밀측지측량’ 및 ‘VRS 측량’ 성과를 기준으로 위치정확도를 비교·고찰한 내용으로 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, RTKNAVI를 매개로 저가 GPS 수신기에 NTRIP기반의 보정값을 접목하여 단독측위 외에 코드 기반의 DGPS 및 반송파 위상 기반의 RTK 및 PPP 측량을 적용하여 측위정확도의 향상을 모색할 수 있었다.

둘째, 저가 GPS수신기 관측 자료와 NTRIP 기반의 보정정보를 공개용 위치해석 툴에 연계, 실시간 보정을 통해 DGPS 측량과 L1 반송파를 활용한 RTK 측량을 구현하여 정밀 GNSS 수신기의 결과에 근접한 성과 ( $N=0.002m\pm 0.001m$ ,  $E=0.004m\pm 0.001$ ,  $h=-0.116m\pm 0.003m$ )를 얻을 수 있었다.

셋째, TCP/IP 프로토콜을 활용한 L1 RTK용 GPS 기준국을 구성하고 L1 RTK 측량을 수행한 결과, 모호정수의 고정해 전·후, 위치 정확도의 향상을 확인할 수 있었으므로 위성 시계가 열린 소규모 지역의 정적 GPS 측량의 응용 가능성을 입증하였다.

본 연구를 통해 저가 GPS 수신기에 NTRIP의 보정값을 연계한 RTK 측량을 구현하여 측지용 수신기의 결과에 근접한 성과를 도출할 수 있었으므로 향후, 저가 L1 GNSS 수신기의 다양한 응용이 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2013년 인천대학교 자체연구지원비에 의해 이루어진 연구내용으로 인천대학교의 연구지원에 감사드립니다.

## References

1. BKG, 2015, BKG GNSS Surfer, <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/download>
2. BKG, 2015, BKG Ntrip Client, Ntrip-Networked transport of RTCM via internet protocol, <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/index>
3. Chang, X. W., Yang, X. and Zhou, T., 2005, MLAMBDA : a modified LAMBDA method for integer least squares estimation, *Journal of Geodesy*, Vol. 79, pp. 552-565.
4. IGS, 2015, IGS Real-time Service, 2015, <http://www.igs.org/rts/products>
5. Jang, S. I., Kang, I. J. and Kang, H. Y., 2010, Current survey method of the road cutting slope area using Ntrip service, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 23, No. 1, pp. 87-92.
6. National Geographic Information Institute, 2015, GNSS data service, <http://www.ngii.go.kr>
7. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 2015, GPS accuracy, <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy>
8. RTCM, 2010, RTCM 10402.3 recommended standards for differential GNSS service, version 2.3 with amendment.
9. RTCM, 2011, RTCM 10410.1 standard for networked transport of RTCM via internet protocol version 2.0 with amendment.
10. Takasu, T. and Yasuda, A., 2009, Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB, *Proc. of international symposium on GPS/GNSS, international convention center Jeju, Korea*, Nov. 4-6.
11. Takasu, T., 2015, RTKLIB : an open source program package for GNSS positioning, <http://www.rtklib.com/>
12. Teunissen, P. J. G., 1995, The least-square ambiguity decorrelation adjustment : a method for fast GPS ambiguity estimation, *J. Geodesy*, Vol. 70, pp. 65-82.
13. The National Maritime PNT Office, 2015, DGNSS service, [www.ndgps.go.kr](http://www.ndgps.go.kr)
14. u-blox AG, 2015a, U-center version 8, <https://www.u-blox.com/en/evaluation-software-tools>
15. u-blox AG, 2015b, LEA-6T module with Precision Timing, <https://www.u-blox.com/en/gps-modules/u-blox-6-timing-module/lea-6t.html>