

국지측량에서의 현장 Calibration에 의한 RTK-GPS 정확도 분석

The Accuracy Analysis of RTK-GPS by Field Calibration in Plane Surveying

박운용* · 신동수**

Park, woon yong · Shin, dong soo

요 旨

실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS는 실시간으로 높은 정밀도의 위치결정을 가능케 해 준다. 만약 미지정수를 구하기 위하여 정수해를 사용한다면 수 mm의 정확도를 얻을 수 있고, 실수해를 얻는다면 수십 cm의 정확도를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 동일 측점에 대해 기존의 재래식 측량기법(Total Station), 정적(Static) 상대측위 GPS기법과 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법에 의해 측량을 수행하여 각 기법별 측정의 정확도 등을 비교 분석하여 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법의 정확도를 분석하고자 한다.

국소지역에서 기존의 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS방식을 보완한 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 수행한 결과, 미지정수해의 고정해를 얻지 못하는 경우를 제외하고는 모두 6cm 이하의 오차가 나타났고, Control Point의 측정수를 3개와 4개로 변화시켜 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 수행한 결과 두 측정치의 차이는 최대 3cm로 나타났다. 최종적으로 국소지역에서도 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법이 사용가능함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Real-time Kinematic GPS enables high accuracy Positioning by real time. If ambiguity use an integer solution, can obtain accuracy of several "mm", and can obtain accuracy of tens "cm" if use real solution.

In this study, We accomplish surveying by existent traditional surveying techniques (Total Station), Static GPS techniques and RTK-GPS techniques by Field Calibration about uniformity measuring point and then compared and analyzed each techniques positioning accuracy etc..

Result that achieve by Static-GPS in Plane area, about all measuring points, expressed error fewer than 3cm.

Result that achieve RTK-GPS Surveying by Field Calibration in Plane area, could know that RTK-GPS techniques by Field Calibration is available in Plane area because expressing errors fewer than all 6cm, except case that do not get fixed solution of ambiguity Field Calibration RTK-GPS could know economically than existent conventional type measurement and existent GPS's measurement techniques that efficiency is very high.

* : 동아대학교 공과대학 토목·해양공학부 교수

** : 경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 교수

1. 서론

GPS는 현재 항법(Navigation), 국가 기준점 설치, 지적조사 그리고 일반 건설분야 등의 다방면에 이용되고 있다. 최근 기술의 비약적 발전과 다양한 측위 기법의 개발로 GPS의 정확도는 크게 향상되었다. 특히, 실시간 동적(Real-time Kinematic) GPS는 실시간으로 고정밀도 위치결정을 가능케 하고 있다. 미지정수의 해가 정수해가 되면 수 mm의 정확도를 얻을 수 있고, 실수해를 사용하면 수십 cm의 정확도를 얻을 수 있다.

그러나, 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS는 기지국과 이동국간의 거리는 전리층의 영향 등으로 인한 오차 때문에 수 km로 제한되어야 하고, 또한 기지국과 이동국간의 거리가 10km이상일 경우 OTF(On The Fly)의 작동도 불안정하게 된다. 또한 기존의 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 방식에서는 WGS-84 타원체상의 경위도 좌표를 획득하므로 다시 국소지역에 대한 좌표변환계수 추출 과정을 거쳐야만 한다.

최근에는 측량대상지내의 (최소 3점) 기존의 지역 좌표(Control Point)를 GPS 수신기에 입력하여 국소 대상지의 좌표변환계수를 자동으로 추출하여 측량의 결과좌표도 지역좌표로 출력되는 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 방식이 고안되었다.

본 연구에서는 동일 측점에 대해 기존의 재래식 측량기법(Total Station), 정적(Static) 상대측위 GPS 기법과 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법에 의해 측량을 수행하여 각 기법별 측정의 정확도 등을 비교 분석하여 현장 Calibration에 의한 실시간 동적 (Real Time Kinematic) GPS기법의 정확도를 분석하고자 한다.

2.1 정적상대측위

정적상대측위의 목적은 정지해 있는 기지점에 대해 미지점의 좌표를 결정하는 것이다. 그림 1에서 A는 기준점, B는 미지점, 그리고 \underline{b}_{AB} 는 기선벡터를 나타낸다. 해당 위치벡터 \underline{X}_A , \underline{X}_B 를 도입하면 아래와 같은 식을 유도할 수 있다.⁽²⁾

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB} \quad (1)$$

그리고, 기선 벡터 \underline{b}_{AB} 성분은 아래와 같다.

$$\underline{b}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \quad (2)$$

기준점의 좌표는 WGS-84 기준계로 주어지고, 코드 거리 해로 근사화 된다. 상대측위는 코드 거리나 위상 거리로 수행될 수 있다. 결국, 위상 거리만 명백히 고려된다. 상대측위는 기준점과 미지점에서 동시 관측이 가능하면 매우 효율적이다. 동시성이란 두 점의 관측 시간표가 같다는 것을 의미한다. 두 점 A와 B에서 위성 j 와 k 에 대한 동시 관측을 가정하면, 선형결합을 통해 단순차분, 이중차분, 그리고 삼중차분을 만들 수 있다. 대부분의 후처리 프로그램은 이들 세가지 차분 기술을 사용한다.⁽²⁾

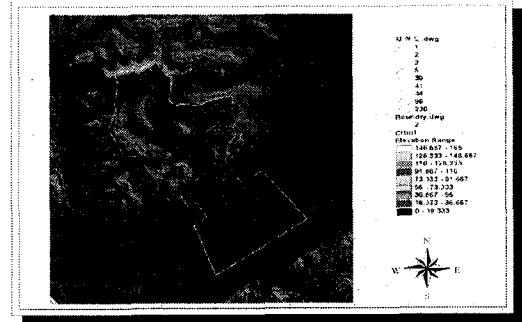


그림 1. 상대 측위기법⁽²⁾

2. 위성측위시스템

2.2 실시간 측위

2.2.1 실시간 동적측위

실시간으로 고정밀도 위치결정을 위해서 이중차분은 반송파 위상을 이용해서 보완해야 한다. 또한, 원시위상거리, 반송파, 그리고 그것들의 보정량이 0.5~2초(sec) 간격으로 기지국으로부터 이동국에 전송해야 한다. 이것을 "실시간 동적측위" 라고 한다. 그러나, 공간적 비상관성이 이중차분 관측값의 정확도를 격하시키므로, 기지국과 이동국간의 거리는 수십 km로 제한되어야 한다.⁽²⁾ 미지정수는 이동 중 초기화 기법으로 고정되거나 실수해(Float Solution)로 결정될 수 있다. 미지정수가 정수가 되면 수cm 정확도를 얻을 수 있다. 실수해를 사용해서 1m~10m의 정확도를 얻을 수 있다. 그림 2는 실시간 동적측위의 개념도를 나타내고 있다.⁽¹⁾

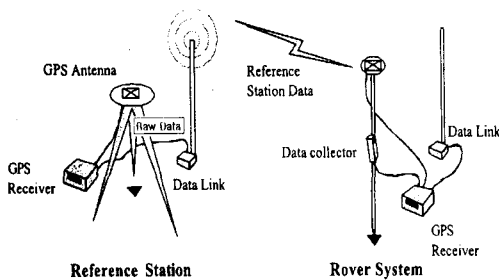


그림 2. 실시간 동적 GPS 개념도

2.2.2 미지정수 결정

반송파 위상에 항상 존재하는 미지정수는 수신기와 위성과의 관계가 있다. 위성의 신호를 계속 수신할 수 있는 경우 시간의 종속성은 없다. 아래와 같은 위상모형에서 미지정수는 N으로 표기한다.⁽²⁾

$$\phi = \frac{1}{\lambda} \rho + N + f\Delta\delta - \frac{1}{\lambda} \Delta I_{iono} \quad (3)$$

여기서, ϕ : 반송파 위상 (cycles)

λ : 파장 (m),

ρ : 위성과 측점사이의 기하학적 거리(m)

f : 위성신호의 주파수 (sec)

$\Delta\delta$: 위성과 수신기시계의 시간편의(sec)

ΔI_{iono} : 전리층에 의한 시간편의 (sec)

미지정수가 정수값으로 결정되면 결정되었거나 (Resolved) 고정되었다(Fixed)고 한다. 일반적으로 미지정수의 결정은 기선해법을 중심으로 하지만 정수 미지정수와 실수 미지정수를 이용한 해는 수mm 이상의 정확도를 가진다. 반송파 처리에서 단일차분 대신 이중차분을 사용하는 것이 중요하다. 그림 3은 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS의 자료 처리 흐름을 나타낸 것이다.⁽¹⁾

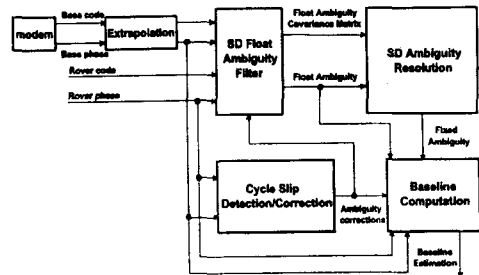


그림 3. 실시간 동적 GPS 자료 처리 흐름도⁽¹⁾

3. 실험 및 분석

3.1 실험지역선정 및 실험방법

본 연구에서는 현장 Calibration을 수행한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS의 성과와 기존의 재래식 측량성과 및 정적(Static) 상대측위 GPS의 성과를 비교, 분석하여 국소지역에서 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS측량의 정확도, 경제적 활용성을 검토하고자 하였다. 이에

표 1. Total Station과 지적좌표의 차

(단위 : m)

St.	Total Station Coordinates		Cadastral Coordinates		Differences	
	X	Y	X	Y	dx	dy
244	177157.3700	184513.7840	177157.3700	184513.7600	0	0.014
245	177176.0180	184419.1050	177176.0100	184419.1200	0.008	0.015
300	177217.0900	184431.5500	177217.0900	184431.5500	0	0
301	177265.9600	184422.0300	177265.9600	184422.0300	0	0
302	177325.4740	184422.0270	177325.4700	184422.0300	0.004	0.003
303	177409.9020	184426.7970	177409.9000	184426.8100	0.002	0.013
304	177409.9690	184493.7340	177409.9600	184493.7400	0.009	0.006
314	177393.9060	184592.8370	177393.9000	184592.8400	0.006	0.003
315	177329.5160	184605.8300	177329.5000	184605.8300	0.016	0
316	177260.3670	184510.8900	177260.3600	184510.9100	0.007	0.02
317	177272.2410	184594.3760	177272.2200	184594.3900	0.021	0.014

본 연구에서는 강서구 송정동 일원을 실험 대상지역으로 선정하였다. 대상지역은 택지 조성이 완료되어 지적도근점이 설치 되어있어 재래식 측량의 성과를 확인할수 있는 곳이며, 공장 및 건물이 부분적으로 입주된 지역으로 비교적 다양한 GPS 측량조건이 제공되었다.

본 연구에서는 먼저 기존의 평면직각좌표 성과를 기선으로 재래식 측량기법인 Total Station에 의한 방법으로 대상지의 11개의 측점을 10회 반복 측정하여 그 평면직교좌표 성과를 획득하였고, 또한 동일 측점에 대해 1측점 당 최소30에서 최대 60분간 3대의 수신기를 사용하여 10개의 분할구역을 구축하여 정적상대측위(Static) GPS 방법으로 WGS-84 성과를 획득한 후 좌표변환계수에 의해 재래식 측량성과와 동일한 평면직교좌표로 변환하였다.

또한, 동일 측점에 대해 먼저 3점을 Control Point로 선정하여, 현장 Calibration을 수행하고 나머지 측점들에 대해 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 실시하여 각 측점의 평면직교좌표 성과를 획득하였고, 또한 4점을 Control Point로 선정하여, 현장 Calibration을 수행한 후 나머지 측점에 대하여 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량

을 수행하였다. 현장 Calibration을 수행한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS와 재래식 기법, 정적상대측위(Static) GPS기법과 비교 분석하였고, 또한 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량에 있어 Control Point 수에 따른 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량 정확도에 관하여 비교 분석하였다.

3.2 실험 결과 및 분석

3.2.1 기법별 측량성과

본 연구에서는 먼저 기존의 평면직각 좌표를 기선으로 재래식 측량기법인 Total Station에 의한 방법으로 대상지내의 11개 측점을 10회 반복측량을 하였다. Total Station(이후 TS) 측량 결과의 검증을 위해 기존 지적도근점 성과와 비교하였다. 표 1은 TS에 의한 측량성과와 지적도근점 성과와의 비교를 나타낸 것이다. TS성과는 표 1에서와 같이 좌표차가 x, y방향 모두 2cm 이내로 나타나 TS의 성과를 검증할 수 있었다.

또한, 재래식 측량과 동일한 측점에 대해 1측점당

최소 30분에서 최대 60분 정적(Static) 상대측위 GPS 기법으로 측정하였다. 관측망도는 그림 4에서 나타내었다.

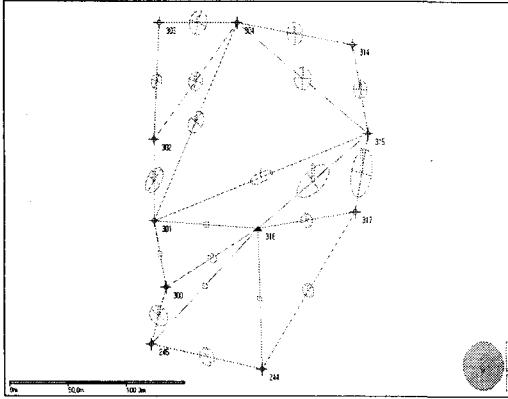


그림 4. 정적(Static)상대측위 GPS 관측망

GPS의 기준계는 WGS-84 세계 측지기준계이므로 GPS를 사용할 때 지상점의 좌표는 동일 기준계로 얻는다. WGS-84는 지심좌표계이고, 국부좌표계는 비지심좌표계이므로 변환이 필요하다.

여기서, 기선처리 소프트웨어 상에서 3차원 자유망 조정 후 가장 안정적이고 고품질의 위성자료를 가진 두 지점을 고정하여 2D 좌표변환을 행하여 표 2와 같이 얻을 수 있었다.

표 3. 정적 상대측위 GPS 평면 직교 좌표값

St.	Static-GPS L1/L2	
	X(m)	Y(m)
244	177157.3610	184513.7920
245	177176.0020	184419.1600
300	177217.1030	184431.5710
301	177265.9600	184422.0300
302	177325.4780	184422.0430
303	177409.9060	184426.8160
304	177409.9600	184493.7400
314	177393.9230	184592.8130
315	177329.5080	184605.8170
316	177260.3750	184510.8960
317	177272.2450	184594.3910

지적도근점의 성과와 Total Station 측량 결과와의 비교를 통해 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량에서의 기지국(Base Station)을 선정하고, 또한 현장 Calibration을 위한 Control Point 4점을 선택하였고, 그림 5에 도시하였다.

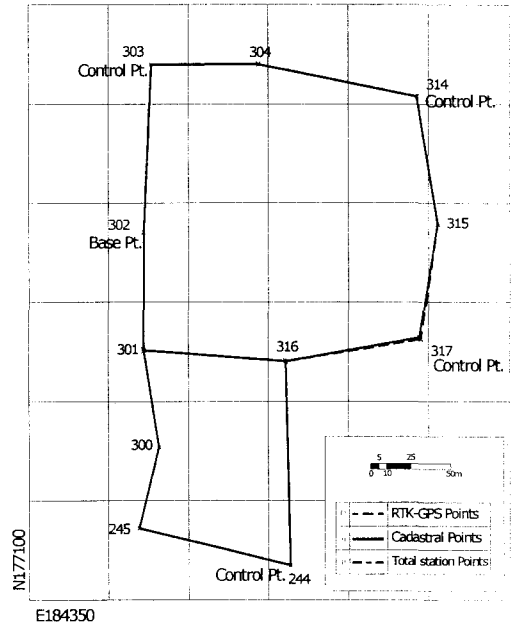


그림 5. Control Point와 기준국 (Base Station) 선정

현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량은 LEGACY-E 수신기와 LegAnt 안테나, 기지국과 이동국의 연결모뎀은 PDL DGPS Kit를 사용하여, 먼저 현장 Calibration을 위한 Control Point를 세 점 사용하여 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS측량을 수행하였다. 측점 302에 기지국을 설치하고, 선정된 3측점(St. 303, 314, 244)의 성과를 이동국에 입력하고 대상지에 대한 현장 Calibration을 수행한 후, 대상지의 동일 측점에 대해 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 실시하였다.

표 3에는 3점의 Control Point를 이용하여 현장

Calibration을 수행한 후 얻은 7-좌표변환계수를 나타내었다. 표 4에서는 3점의 Control Point를 이용한 현장 Calibration을 수행한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량 성과를 나타내었다.

표 3. 7-변환계수(Control Point 3점사용시)

Scale Factor	0.999997752
ΔX	-326.7184
ΔY	312.5798
ΔZ	657.5523
ω	7.86"
ψ	9.76"
κ	3.10"

표 4. 지적좌표와 현장 Calibration 실시간 동적 GPS좌표 비교 (Control Point 3점 사용시)

St.	Field Calibration RTK-GPS		Note
	X(m)	Y(m)	
244	177157.3700	184513.7600	Control
245	177176.0099	184419.1275	Fixed
300	177217.1103	184431.5985	Fixed
301	177265.9600	184422.0300	Control
302	177325.4591	184422.0284	Base
303	177409.9000	184426.8100	Control
304	177409.9864	184493.7216	Fixed
314	177393.9000	184592.8400	Control
315	177329.5618	184605.8235	Fixed
316	177260.3917	184510.9332	Fixed
317	177271.4258	184595.3902	Float

또한, 현장 Calibration을 위한 Control Point를 네 점 사용하여 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 수행하였다. 측점 302에 기지국을 설치하고, 선정된 3측점(St. 303, 314, 316, 244)의 성과를 이동국에 입력하고 대상지에 대한 현장 Calibration을 수행한 후, 상기와 동일한 방식으로 대상지에 대해 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 실시하였다.

표 5에서는 4점의 Control Point를 이용하여 현장 Calibration을 수행한 후 얻은 7-좌표변환계수를 나타내었다. 표 6에서는 4점의 Control Point를 이용한 현장 Calibration을 수행한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량 성과를 나타내었다.

표 5. 7-변환계수(Control Point 4점사용시)

Scale Factor	0.999997759
ΔX	-326.7180
ΔY	312.5780
ΔZ	657.5500
ω	7.06"
ψ	9.55"
κ	3.22"

표 6. 지적좌표와 현장 Calibration 실시간 동적 GPS좌표 비교 (Control Point 4점 사용시)

St.	Field Calibration RTK-GPS		Note
	X(m)	Y(m)	
244	177157.3700	184513.7600	Control
245	177176.0085	184419.1265	Fixed
300	177217.1088	184431.5767	Fixed
301	177265.9600	184422.0300	Control
302	177325.4622	184422.0291	Base
303	177409.9000	184426.8100	Control
304	177409.9801	184493.7348	Fixed
314	177393.9000	184592.8400	Control
315	177329.5367	184605.8248	Fixed
316	177260.3600	184510.9100	Control
317	177271.8726	184594.9672	Float

3.2.2 측량 성과 비교 및 분석

실험의 결과로부터 지적도근점에 대해 재래식기법과 기존 정적(Static) 상대측위 GPS기법 및 각각의 현장 Calibration 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량성과를 비교하여 그림 6로 도시하였다. 처

리된 성과는 표 7로 나타내었다.

여기서, 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS(3Pt.) 와 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS(4Pt.)는 각 3점과 4점을 사용한 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS의 성과를 나타낸 것이다.

그림 6에서 국소지역에 대해 재래식기법은 모든 측점에 있어 지적측량의 제한치인 3cm 이내로 나타났다. 또한 기존의 정적(Static) 상대측위 GPS기법의 성과도 4cm 이하인 것으로 나타났다.

현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법의 경우 기존의 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법의 국소지역 직교좌표로 변환하는 과정을 생략할 수 있으므로 작업효율이 매우 우수하였다. Control Point를 3점, 4점을 사용했을 경우 표 4에서와 같이 성과의 차이가 크지 않음을 알수 있으나 4점을 사용했을 경우 미소하게 정밀도가 향상된 결과를 보였다.

또한 미지정수해로 고정해(Fixed)를 얻은 경우 그 측량의 성과가 5cm 이하로 나타났으나, 측점 317번에서는 인접건물의 영향으로 미지정수 고정해를 얻

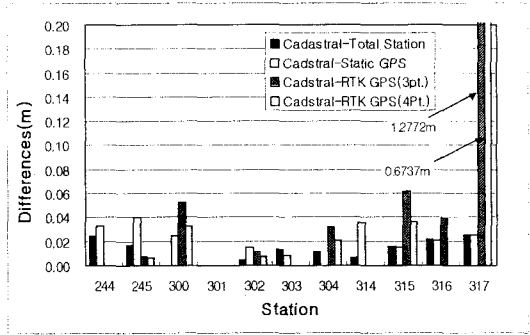


그림 6. 지적좌표와 T S좌표, 정적 상대 측위 GPS, RTK-GPS(3Pt.), RTK-GPS(4Pt.)성과 비교

지 못해 그 성과의 오차가 Control Point 3점, 4점을 사용한 경우 각각 1.2772m, 0.6737m로 매우 크게 나타났다.

현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량에서 Control Point의 측점수에 따른 좌표차는 표 8과 그림 7로 나타내었다. 미지정수해를 고정해(Fixed)를 얻지 못한 경우를 제외하고는 모두 4cm이하로 나타났다. 또한 그림 8에서와 같이 기존의 지적좌표와 비교한 결과로 3점을 이용한 경우 보다 점선으로 표시된 4점을 이용한 경우가 매우 미소하게 우수한 정밀도를 보였다.

표 7. 지적좌표와 TS좌표, 정적 상대 측위 GPS, RTK-GPS(3Pt.), RTK-GPS(4Pt.)성과의 차

St.	Cad-TS	Cad-Static GPS	Cad-RTK GPS (3 point)	Cad-RTK GPS (4 point)
244	0.0240	0.0332	0.0000	0.0000
245	0.0170	0.0408	0.0075	0.0067
300	0.0000	0.0247	0.0526	0.0327
301	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
302	0.0050	0.0153	0.0110	0.0079
303	0.0132	0.0085	0.0000	0.0000
304	0.0108	0.0000	0.0322	0.0208
314	0.0067	0.0355	0.0000	0.0000
315	0.0160	0.0153	0.0621	0.0371
316	0.0212	0.0205	0.0393	0.0000
317	0.0252	0.0250	1.2772	0.6737

표 8. RTK-GPS(3Pt.)와 RTK-GPS(4Pt.)의 좌표차

St.	dx	dy	difference	note
244	0	0	0	
245	0.0014	0.001	0.0017	
300	0.0015	0.0218	0.0219	
301	0	0	0	
302	0.0031	0.0007	0.0032	
303	0	0	0	
304	0.0063	0.0132	0.0146	
314	0	0	0	
315	0.0251	0.0013	0.0251	
316	0.0317	0.0232	0.0393	
317	0.4468	0.423	0.6153	float

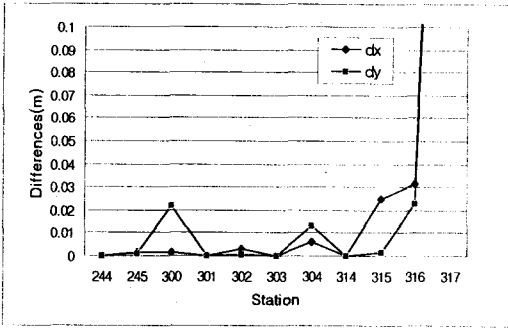


그림 7. RTK-GPS(3Pt.)와 RTK-GPS(4Pt.)의 좌표차 비교

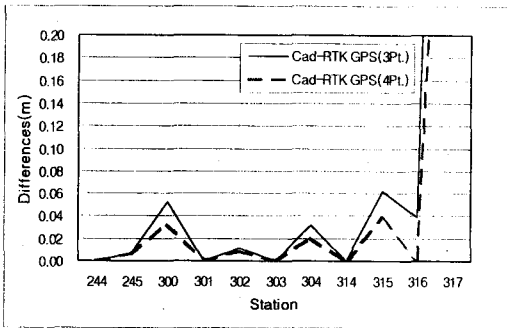


그림 8. RTK-GPS(3Pt.)와 RTK-GPS(4Pt.)의 지적좌표와의 차이 비교

4. 결론

실험에서 얻어진 결과를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 국소지역에서의 기존의 GPS측량방식의 확인을 위해 정적(Static) 상대측위 GPS에 의한 측량을 수행한 결과, 모든 측점에 대해 3cm 이하의 오차를 나타내었다.
- 2) 국소지역에서 기존의 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS방식을 보완한 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 수행한 결과, 미지정수해의 고정해

를 얻지 못하는 경우를 제외하고는 모두 6cm 이하의 오차를 나타내어 국소지역에서도 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS기법이 사용가능함을 알 수 있었다. 또한 본 방법은 기존의 재래식 측량 및 기존의 GPS의 측량 기법에 비해 그 시간적, 경제적 효율성이 매우 높음을 알 수 있었다.

- 3) 현장 Calibration에 의한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS측량은 측점으로부터 1m 정도인 인접 건물의 영향으로 미지정수해의 고정해(Fixed Solution)를 찾지 못해 그 오차가 매우 크게 나타났다. 따라서 현장 Calibration을 통한 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량은 광활지나 준도심지에서는 사용 가능 할 것으로 사료된다.
- 4) 현장 Calibration을 위한 Control Point의 측정수를 3개와 4개로 변화시켜 실시간 동적(Real Time Kinematic) GPS 측량을 수행한 결과 두 측정치의 차이는 모호정수해를 고정해로 얻지 못한 경우를 제외하고는 최대 3cm로 나타났다. 두 측정치중 4개를 사용한 경우의 정확도가 미소하게 높음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 1999년도 경상대학교 연구년제 연구교수 연구지원 과제임.

참고문헌

1. 이인수(2000), GPS/GLONASS 결합에 의한 차량의 동적위치결정, 박사학위논문, 동아대학교.
2. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., and Collins J. (1992) GPS : Theory and

Practice.Springer Verlag Wien.

3. 김천영(1999) 지적측량의 정확도 향상을 위한 GPS와 TS측위의 조합해석, 석사학위논문, 동아대학교.
4. Zhodzishsky, M, Vorobiev, A. Khavkov., J. Ashjaee (1998) RTK Processing of Dual-Frequency GPS, Proceedings of ION GPS-98, pp 1325~1331.
5. Wang, J."Precise GPS and GLONASS satellite positioning : model formulation and performance" Artificial Satellites, Journal of Planetary Geodesy, 34, pp11-25.
6. Seeber, G., and Wubben, G., "Kinematic Positioning with Carrier Phase and "On the Way" Ambiguity Solution," Proceeding of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol. II, 1989, pp. 600~609.
7. 유복모, 조기성, 이현직, 광동욱, "수평위치 결정을 위한 망조정 해석에 관한 연구", 한국측지학회지 제 9 권 1호, 1991, pp. 37~48.
8. 이인수, "GPS/GLONASS 결합에 의한 차량의 동적위치결정", 동아대학교, 박사학위논문, 2001, pp 1~50.
9. Teunissen P. J. G., "A Canonical Theory for Short GPS Baselines", journal of Geodesy, Vol. 71, 1997, pp. 320~336.
10. 박운용, 임영빈, 이재원, "정밀측지측량을 위한 GPS 신속관측기법들의 활용에 관한 연구", 토목학회 논문집, 제 15 권 4 호, 1995, pp. 961~973.

(2002년 1월 28일 원고접수)