

# 네트워크 기반 키너매틱 위치결정을 위한 단일기선 GPS해의 최적 결합

## The Optimized Integration of Single-baseline GPS Solutions for Network-based Kinematic Positioning

최윤수<sup>1)</sup> · 배태석<sup>2)</sup> · 이종기<sup>3)</sup> · 권재현<sup>4)</sup>

Choi, Yun Soo · Bae, Tae Suk · Lee, Jong Ki · Kwon, Jay Hyoun

### Abstract

For several years, although the demand of high accuracy kinematic positioning using multiple bases has been increased, most of the commercial GPS processing softwares can provide the single-baseline solutions only. Thus, we studied the methods to improve the accuracy of the kinematic positioning using the network configuration based on the several single-baseline solutions. As discussed in this study, the positioning accuracy as well as the network stability is improved by introducing the geodetic network adjustment theories into the kinematic positioning application. Three different methods to remove the rank-deficiency, RLESS, BLIMPBE and SCLESS, are analyzed in this study. The 3D RMS error has been improved from 3.5 cm (max) to 2.1 cm using the network-based kinematic positioning, and it is desired to choose BLIMPBE and SCLESS depending on the accuracy of the base stations.

Keywords : GPS, Network adjustment, Kinematic positioning

### 초 록

다수의 고정수신기를 이용하여 이동수신기의 위치를 정확히 측정하고자 하는 필요성은 계속적으로 대두되고 있었으나, 현재 사용되고 있는 대부분의 상용 소프트웨어에서는 단일기선에 대한 GPS 결과만을 제공하고 있다. 따라서 본 논문에서는 다수의 단일기선 결과를 이용하여 네트워크를 구성함으로써 이동수신기의 위치측정 정확도를 향상시키기 위한 방안을 연구하였다. 이를 위해 기존의 측지 망 조정 이론을 도입하여 이동수신기의 위치결정 분야에 적용함으로써 위치정확도 향상 뿐만 아니라 전체적인 네트워크의 안정에도 기여할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 측지망의 계수부족(Rank-deficiency)을 제거하기 위해서 하나의 고정수신기의 위치를 고정시키는 방법(RLESS), 이동수신기의 바이어스(Bias)를 최소화하는 방법(BLIMPBE), 그리고 고정수신기의 위치에 확률적 제약 조건을 주는 방법(SCLESS)에 대해서 비교 분석하였다. 네트워크 기반의 위치결정을 통해서 3차원 평균계급근오차(RMSE)는 최대 3.5cm에서 2.1cm 수준으로 향상되었고, 기준점의 위치정확도에 따라 BLIMPBE 및 SCLESS 방법을 적절히 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

핵심어 : GPS, 네트워크 망조정, 키너매틱 위치결정

## 1. 서 론

GPS를 이용한 위치측정(Point Positioning)이 과학계 뿐만

아니라 산업계에서도 보편화 되었으며, 또한 차량 등에 탑재한 이동수신기(Rover)를 이용한 측정인 키너매틱 GPS도 점점 일반화되어 가고 있다. GPS 수신기를 이용한 위

1) 연결저자 · 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Email:choiys@uos.ac.kr)

2) 미국 오하이오 주립대학교 Geodetic Science 박사 후 연구원(Email:bae.38@osu.edu)

3) 정회원 · 미국 오하이오 주립대학교 Geodetic Science 박사과정(Email:lee.2608@osu.edu)

4) 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Email:jkwon@uos.ac.kr)

치측정 방법은 절대측량과 상대측량으로 나눌 수 있다. 실시간(Real-time) 위치측정의 경우를 제외하고, 일반적으로 정밀한 위치측정이 필요한 경우 2개 이상의 GPS 수신기를 이용하여 후처리(Post-processing)하는 상대측량 방법이 많이 사용되고 있다. 따라서 두 개의 수신기를 이용하여 상대측량을 하는 경우 위치를 알고 있는 수신기의 좌표를 고정하고, 다른 수신기의 위치를 계산함으로써 두 수신기 사이의 상대적인 벡터인 기선벡터(baseline vector)를 구하게 된다. 좌표를 알고 있는 고정수신기가 많은 경우 고정수신기와 이동수신기 사이에 여러 개의 기선벡터를 생성할 수 있고, 이를 이용하여 좌표를 구하고자하는 수신기의 위치정확도를 높이는 방법들이 연구되어 왔다(Fotopoulos and Cannon, 2001). 또한, 고정수신기들 중에 한 수신기에서 오차가 발생하더라도 나머지 고정수신기들을 이용하여 오차를 보정 또는 제거할 수 있으므로 다중 고정수신기를 이용한 기선처리는 전체 데이터처리의 신뢰성 및 위치정확도를 동시에 높일 수 있다. 그러므로 다수의 수신기를 이용하는 GPS 측량은 모든 데이터를 이용하여 구하고자 하는 수신기의 위치를 동시에 결정하는 방법이 가장 바람직하다. 특히 이동수신기를 이용한 키너매틱 측정의 경우에는 각 관측시점(Epoch)에서의 데이터만을 사용할 수 있으므로 위치결정 정확도가 정지측량에 비해 저하된다. 따라서 다중 고정수신기에 기반한 해를 구함으로써 시스템(Systematic) 및 랜덤(Random) 오차의 최소화는 물론 기선처리의 안정성(Reliability)을 향상시킬 수 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 대부분의 GPS 데이터 처리 소프트웨어는 하나의 고정수신기만을 이용한 단일기선처리 기능만을 제공하고 있으므로 이에 따른 기하학적인 바이어스(Bias) 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 GPS 데이터처리 소프트웨어 결과를 그대로 이용하면서도 다중 고정수신기를 이용한 네트워크로 구하고자 하는 이동수신기의 좌표 정확도를 향상시키기 위한 GPS 위치결정 기술의 필요성이 대두되고 있다.

다중 고정수신기를 이용하는 네트워크 기반 키너매틱 GPS 자료처리를 위해서는 보간(Interpolation)하는 방법, 조정계산(Adjustment Computation)을 이용하는 방법, 그리고 가상기준국시스템(Virtual Reference System)을 이용하는 방법 등이 연구되어 왔으며(Fotopoulos and Cannon, 2001). 최근에는 2차원 평면상에 단일기선의 결과들을 보간하는 방법이 많이 시도되었다(Dai et al., 2004). 일반적으로 사용되는 보간방법에는 선형조합모델(Han and Rizos,

1996), 거리기반 선형보간법(Gao et al., 1997, 1998), 선형보간 방법(Wanninger, 1995; Wubbena et al., 1996), 저차평면모델(Wubbena et al., 1996; Fotopoulos and Cannon, 2001), 그리고 최소제곱콜로케이션(Raquet, 1997; Marel, 1998) 등이 있다. 이러한 방법들은 단순히 2차원 평면상에서 기선길이에 비례한 가중치를 주거나, 소수의 데이터를 이용하여 경험적 공분산함수(Covariance Function)를 결정함으로써 실제 GPS 측량에 적용하기 어려운 면이 있다. 따라서 최적의 키너매틱 GPS 결과를 위해서는 망조정 이론을 바탕으로 한 조정계산 방법을 도입하는 것이 필요하다.

## 2. GPS 망조정(GPS Network Adjustment)

GPS 데이터를 이용한 측지망(Geodetic Network) 조정은 GPS 위성궤도가 주어졌다고 가정했을 때 계수부족(Rank-deficiency) 시스템으로서 3개의 원점이동(Translation) 정보가 필요하게 된다. 따라서 이 계수부족을 제거하기 위해서는 특정 기준점에 제약조건을 주거나 특별히 고안된 조정계산방법을 도입해야 한다. Snow(2002)는 새로운 기준점 설치를 위해 동일 GPS 네트워크를 이용하여 중복 관측하고, 이를 다양한 조정계산 방법 및 가설검정(Hypothesis Testing)을 통해 최적의 기준점 좌표를 추정하였다. 본 논문에서는 네트워크 기반 키너매틱 GPS 자료처리에 적합한 세가지 조정계산 방법을 비교, 검증하고, 고정수신기의 조건에 따른 최적의 키너매틱 GPS 결과를 도출하고자 한다. 세가지 조정계산 방법은 GPS 망조정의 계수부족을 해소하기 위한 최소한의 제약조건을 주는 방법(RLESS, Restricted LEast-Squares Solution), 구하고자 하는 이동수신기의 위치에 대한 바이어스를 최소화하는 방법(BLIMPBE, Best Linear Minimum Partial Bias Estimation), 그리고 고정수신기의 위치에 확률적인 제약조건을 주는 방법(SCLESS, Stochastic Constrained LEast-Squares Solution)이다.

GPS 관측방정식의 수학적모델을 선형화하면 다음과 같은 가우스마코프(Gauss-Markov) 모델로 표현할 수 있다.

$$y = A\xi + e, \quad e \sim N(0, \sigma_0^2 P^{-1}) \quad (1)$$

여기서

$y$  : 관측값과 계산값의 차이 벡터( $n \times 1$ , random)

$A$  : 디자인 행렬( $n \times m$ ),  $\text{rank}(A)=q$

$\xi$  : 미지수 벡터(초기값에 대한 보정값,  $m \times 1$ , non-random)  
 $e$  : 관측값의 오차벡터(평균 0, 가중행렬  $P$ , random)  
 $\sigma_0^2$  : 분산성분(Variance Component).

첫번째 방법인 RLESS에서는 계수부족을 제거하기 위해 최소한의 제약조건을 추가한 후 최소제곱 방법을 적용하는데, 제약조건은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\kappa_0 = K\xi \quad (2)$$

$$\text{rank}[A^T, K^T] = m, \quad \text{rank}(K) = m - q \quad (3)$$

여기서

$\kappa_0$  : 제약조건 벡터( $l \times 1$ , non-random)

$K$  : 계수 행렬( $n \times m$ ).

오차의 제공함을 최소화하는 일반적인 최소제곱방법을 적용한 후 간단히 정리하면 다음과 같은 최종적인 해 및 공분산행렬을 유도할 수 있다.

$$\hat{\xi} = (N + K^T K)^{-1} (c + K^T \kappa_0) \quad (4)$$

$$D\{\hat{\xi}\} = \sigma_0^2 (N + K^T K)^{-1} N (N + K^T K)^{-1} \quad (5)$$

여기서  $[N \ c] = A^T P [A \ y]$ .

만일 고정 수신기 좌표의 공분산 행렬이 주어지고, 또한 이 좌표값이 확률적인 오차를 가지고 있는 경우에는 이 좌표값들을 확률적인 제약조건으로 주고 이동 수신기의 좌표를 계산할 수 있다(SCLESS). 이 경우 제약조건 형태는 식 (2)와 비슷하나 랜덤오차가 포함되어 있다.

$$z_0 = K\xi + e_0, \quad e_0 \sim (0, \sigma_0^2 P_0^{-1}) \quad (6)$$

$$\text{rank}([A^T, K^T]) = m, \quad \text{rank}(K) = l \geq m - q \quad (7)$$

여기서

$z_0$  : 제약조건 벡터( $l \times 1$ , random)

$e_0$  : 제약조건 오차벡터(평균 0, 가중행렬  $P_0$ , random)

동일한 전개과정을 통해 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\hat{\xi} = (N + K^T P_0 K)^{-1} (c + K^T P_0 z_0) \quad (8)$$

$$D\{\hat{\xi}\} = \sigma_0^2 (N + K^T P_0 K)^{-1} \quad (9)$$

식 (7)에서 알 수 있듯이 SCLESS는 제약조건이 필요 이상으로 많이 도입되는(Over-constrained) 결과가 된다.

마지막으로, 계수부족시스템(Rank-deficient System)의 해를 구하는 방법의 하나로서 특정 수신기의 위치에 대한 바이어스를 최소화하는 방법이 있다(Schaffrin and Iz, 2002). 이 방법은 최소화하고자하는 수신기에 해당하는 미지수를 선택행렬(selection matrix)을 이용하여 표현하는데, 예를 들어  $s$ 개의 미지수에 해당하는 바이어스를 최소화하고자 한다면 다음과 같은 선택행렬의 적용이 가능하고

$$S_{m \times m} = \begin{bmatrix} I_s & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

이때 이 선택행렬의 계수(Rank)는 디자인행렬의 계수부족(Rank-deficiency)을 제거할 수 있어야 한다. 이 방법의 최종 결과는 다음과 같이 주어지며 자세한 유도과정은 Schaffrin and Iz(2002)를 참고할 수 있다.

$$\hat{\xi} = [SN(NSNSN)^- NS]c \quad (11)$$

$$D\{\hat{\xi}\} = \sigma_0^2 [SN(NSNSN)^- NS] \quad (12)$$

여기서  $-$  는 g-inverse를 의미하며 위의 참고자료에 자세히 기술되어 있다.

### 3. GPS 망조정 실험결과 및 분석

네트워크 기반 GPS 자료처리를 위해 선택된 3가지 측지망조정 방법을 분석하기 위해 국토지리정보원에서 운영하고 있는 GPS 상시관측소 데이터를 사용하였다. 국토지리정보원은 총 14개의 국내 상시관측소를 운영하고 있으며, 그 중에서 그림 1과 같이 5개의 상시관측소 데이터

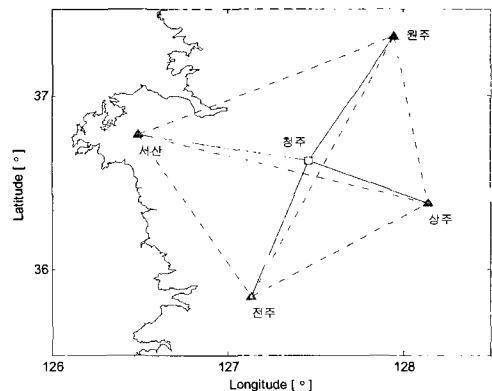


그림 1. GPS 상시관측소 네트워크 구성도

를 선정하였다. 키너매틱 GPS 결과의 정확도를 분석하기 위해서는 실데이터를 사용하는 것이 바람직하나, 실제 키너매틱 데이터는 계산결과를 비교할 수 있는 정확한 자료가 없으므로 정지측량된 수신기의 자료를 키너매틱 모드로 처리하여 고시된 상시관측소 좌표와 비교하였다. 일반적으로 이동수신기와 고정수신기 사이의 기선길이가 비교적 일정하게 이루어진 GPS 네트워크가 한쪽으로 치우치거나 편향된 네트워크 구조보다 좋은 결과를 보이는 것으로 알려져 있으므로(Brzezinska et al., 2004), 본 연구에서는 직사각형 모양의 기하구조를 설정하고, 청주를 이동수신기, 나머지 관측소(서산, 원주, 전주, 상주)를 고정수신기로 가정하였다(그림 1). 표 1은 사용된 상시관측소 고시좌표(국립지리원 고시 제2002-444호)이며, 이는 2002년 1월 1일 기준의 좌표값이다. 실험을 위해 선택된 5개의 상시관측소 GPS RINEX(version 2) 데이터는 국토지리정보원이 운영하는 GPS기준점 서비스 홈페이지에서 다운로드 받을 수 있으며([http://210.117.198.4/open\\_content/main\\_page.asp](http://210.117.198.4/open_content/main_page.asp)), 각 상시관측소별로 2006년 10월 31일 데이터(24시간)가 사용되었다.

이동수신기의 위치를 추정하기 위해 모든 고정수신기의 위치를 국토지리정보원에서 고시된 좌표로 고정시키면 전체 GPS 네트워크에 필요이상의 제약조건이 설정되고, 이에 따라 추정되는 이동수신기의 위치에 바이어스(Bias)가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고정수신기의 위치를 전체 GPS 네트워크에서 이동수신기와 동시

에 추정(Estimation)하였다. 실험에서 사용하는 관측값은 GPS 기선벡터로서 하나의 기선벡터에서 3개의 관측값(X, Y, Z 요소)이 존재하며, 추정되는 수신기의 위치마다 3개의 미지수가 존재한다. 또한 키너매틱 GPS 데이터는 기본적으로 중복관측이 불가능하므로, 모든 수신기(고정 및 이동)의 위치를 추정하기 위해서는 고정수신기 사이의 벡터 또한 관측값으로 포함되어야 한다.

각 기선별 베이스라인 벡터를 계산하기 위해서 GPS 자료처리 소프트웨어인 GAMIT/Track(Version 1.13)이 사용되었다. GAMIT은 GPS자료 처리를 위한 종합적인 프로그램 패키지로서 다른 시점 또는 장비에서의 관측값을 이용하기 위한 칼만필터를 포함하고 있다. 보다 자세한 내용은 GAMIT/GLOBK 홈페이지(<http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>)를 참조할 수 있다. GAMIT/Track을 이용하여 총 10개의 기선이 처리되었는데, 고정수신기와 이동수신기간의 기선처리는 GAMIT/Track에서 키너매틱 모드로 처리되었으며 고정수신기 사이의 기선처리는 GAMIT에서 정지측량 모드로 해를 계산하였다. GPS위성 항법데이터로는 IGS(International GNSS Service)에서 제공하는 정밀궤도자료가 사용되었다. 또한 실제 키너매틱 GPS측량을 가정하기 위하여 이동수신기(청주)의 고시좌표에 각 요소별로 10미터의 랜덤오차를 더하여 초기값으로 사용하였다.

GAMIT/Track을 이용하여 단일기선 처리 기반으로 추정된 이동수신기(청주)의 좌표를 고시된 좌표와 비교한

표 1. 사용된 상시관측소 고시 좌표(기준일: 2002.0년)

관측소명	ITRF2000	GRS80 타원체			비고
		위도/경도/타원체고	평면직각좌표(m)	투영원점	
서산 (SEOS)	X=3042060.369m Y= 4111978.757m Z= 3797578.729m	$\phi = 36^{\circ}46'35.0729''$ $\lambda = 126^{\circ}29'39.1286''$ h= 52.268m	X=135680.839 Y= -45153.541	중부	고정
원주 (WNJU)	X=3122341.161m Y= 4004030.665m Z= 3847323.755m	$\phi = 37^{\circ}20'13.9453''$ $\lambda = 127^{\circ}56'49.5177''$ h= 180.215m	X= -73142.803 Y= 83929.192	중부	고정
전주 (JUNJ)	X=3124886.932m Y= 4126580.536m Z= 3714170.158m	$\phi = 35^{\circ}50'36.4274''$ $\lambda = 127^{\circ}08'06.4488''$ h= 77.158m	X=239317.097 Y= 12207.375	중부	고정
상주 (SNJU)	X=3175473.079m Y= 4043362.930m Z= 3762213.594m	$\phi = 36^{\circ}22'44.9921''$ $\lambda = 128^{\circ}08'40.1171''$ h= 111.587m	X=179542.349 Y= -76767.026	중부	고정
청주 (CNJU)	X=3117076.205m Y= 4067949.797m Z= 3784300.502m	$\phi = 36^{\circ}37'36.8207''$ $\lambda = 127^{\circ}27'40.4163''$ h= 93.503m	X=152293.031 Y= 41254.415	중부	이동

표 2. 단일기선 처리 결과(최대값은 절대값을 기준으로 계산한 값임)

번호	기선명	기선길이[m]	요소	최대값	평균	표준편차	RMS
1	서산→청주	87989.978	X[cm]	11.24	-1.09	1.96	2.24
			Y[cm]	8.89	0.47	2.12	2.17
			Z[cm]	6.98	-0.02	1.46	1.46
			3D[cm]				3.45
2	원주→청주	89918.327	X[cm]	10.99	-1.39	1.37	1.95
			Y[cm]	7.61	1.21	1.65	2.05
			Z[cm]	8.30	-0.58	1.50	1.61
			3D[cm]				3.25
3	전주→청주	91743.317	X[cm]	7.27	-0.18	1.43	1.44
			Y[cm]	7.38	-0.58	1.81	1.90
			Z[cm]	6.47	-0.07	1.45	1.45
			3D[cm]				2.80
4	상주→청주	67100.972	X[cm]	5.28	-0.28	1.28	1.31
			Y[cm]	6.56	-0.54	1.53	1.62
			Z[cm]	8.04	-1.11	1.34	1.74
			3D[cm]				2.72

결과는 표 2와 같다. 각 관측시점별로 고시좌표와 최대 (12cm 이내의 차이를 보였으며, 각 요소별 RMS(Root Mean Squares) 오차는 2.5cm 이내로 결정되었다.

이와 같이 결정된 단일기선 GPS 결과를 네트워크로 구성하여 앞절에서 설명한 세가지 조정계산 방법을 적용하면 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있다. RLESS 방법에서는 3개의 계수부족을 제거하기 위해서 고정수신기 중 하나를 고시된 좌표로 설정하여야 하므로 서산(SEOS)을 기준점으로 고정하였다. 각각의 방법으로 추정된 결과의 정확도를 평가하기 위해 국토지리정보원에서 고시한 좌표와 비교하여 통계값을 계산하였다.

그림 2는 서산(SEOS) 기준점을 고정하고 단일기선 처리한 결과와 BLIMPBE 방법을 이용한 네트워크 결과를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 네트워크 기반 GPS 결과는 단일 기선의 경우에 비해 바이어스가 현저히 줄어들고 각 관측시점에서의 최대오차가 줄어들었음을 확인할 수 있다. 이는 GPS 망조정을 통해 단일기선에서 발생할 수 있는 기하학적인 바이어스를 최소화함으로써 전체 네트워크상의 정확도와 안정성이 향상되었음을 알 수 있다.

또한 이동수신기의 좌표 뿐만 아니라 고정수신기의 좌표도 함께 추정하였으므로 추정된 고정수신기의 좌표 정확도 역시 네트워크 기반 결과를 평가하는데 중요한 요소가 된다. 추정된 고정수신기의 좌표를 고시된 좌표와 비교한 결과는 표 4와 같다.

식 (11)에서 알 수 있듯이 BLIMPBE 방법을 적용하면

표 3. GPS 망조정 방법별 결과

방법	평균	표준편차	RMS	
RLESS	X[cm]	-0.51	1.11	1.22
	Y[cm]	-0.09	1.34	1.35
	Z[cm]	-0.22	1.00	1.02
	3D[cm]			2.09
BLIMPBE	X[cm]	-0.75	1.10	1.33
	Y[cm]	0.15	1.35	1.35
	Z[cm]	-0.42	1.00	1.08
	3D[cm]			2.19
SCLESS	X[cm]	-0.75	1.10	1.34
	Y[cm]	0.14	1.34	1.35
	Z[cm]	-0.43	1.00	1.08
	3D[cm]			2.19

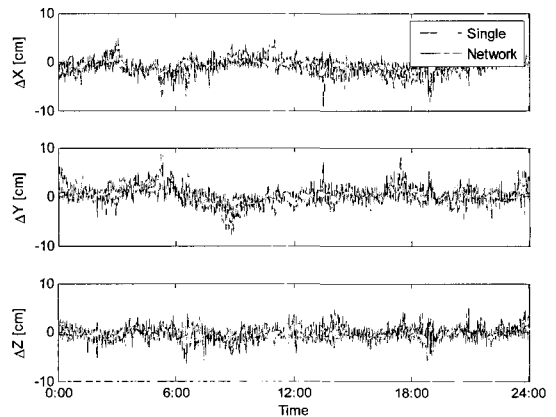


그림 2. 청주(CNJU) 상시관측소의 위치오차 비교(단일기선 대 네트워크)

표 4. 각 방법별 기준점(고정수신기) 좌표 보정값

기준점		RLESS			SCLESS			BLIMPBE		
		평균	표준편차	RMS	평균	표준편차	RMS	평균	표준편차	RMS
서산 (SEOS)	X[cm]	0.00	0.00	0.00	-0.24	0.02	0.24	0.00	0.00	0.00
	Y[cm]	0.00	0.00	0.00	0.23	0.03	0.23	0.00	0.00	0.00
	Z[cm]	0.00	0.00	0.00	-0.20	0.02	0.20	0.00	0.00	0.00
원주 (WNJU)	X[cm]	0.44	0.03	0.44	0.19	0.02	0.20	0.00	0.00	0.00
	Y[cm]	-0.95	0.07	0.96	-0.72	0.05	0.73	0.00	0.00	0.00
	Z[cm]	0.19	0.03	0.19	-0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
전주 (JUNJ)	X[cm]	-0.27	0.04	0.27	-0.51	0.02	0.51	0.00	0.00	0.00
	Y[cm]	-0.31	0.06	0.32	-0.08	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00
	Z[cm]	0.25	0.02	0.25	0.05	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00
상주 (SNJU)	X[cm]	0.79	0.03	0.79	0.55	0.02	0.55	0.00	0.00	0.00
	Y[cm]	0.36	0.03	0.36	0.58	0.02	0.58	0.00	0.00	0.00
	Z[cm]	0.37	0.03	0.37	0.17	0.01	0.17	0.00	0.00	0.00

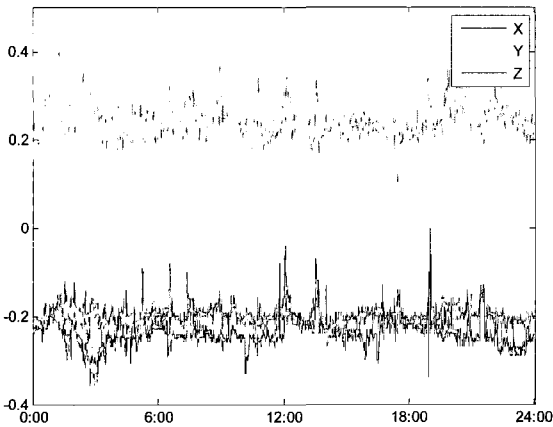


그림 3. 이동수신기(청주)의 추정좌표값의 차이(BLIMPBE-RLESS)

바이어스 최소화를 위해 선택된 좌표 이외의 다른 좌표의 보정값은 항상 0이 됨을 알 수 있다(표 4). 따라서 이 방법으로 추정하면 고정수신기의 좌표는 기존 좌표와 동일한 반면 이동 수신기의 좌표를 다른 고정 수신기의 좌표에 기반하여 구할 수 있다. 또한 RLESS 방법에서는 고정된 기준점의 좌표는 변동이 없는 반면 나머지 기준점들의 좌표가 다른 방법에 비해서 상대적으로 많이 움직이게 된다. 이는 고정된 수신기의 좌표오차 또는 기하학적인 비대칭으로 인한 바이어스가 다른 고정 수신기의 좌표에 영향을 준 것으로 판단된다. SCLESS 방법에서는 좌표보정

값이 모든 고정수신기에 비슷하게 분산됨으로써 상대적으로 RLESS 방법에서의 경우보다 작게 나타났다.

그림 3은 두가지(BLIMPBE, RLESS)의 조정방법에 의해 추정된 이동수신기(청주)의 좌표를 비교한 것이다. 그림 3에서 보는 것처럼, 두가지 방법으로 추정된 이동수신기의 좌표값에 각 요소별 0.2cm 정도의 바이어스가 포함되어 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 RLESS에서 하나의 좌표를 고정함으로써 나머지 고정수신기 뿐만 아니라 이동수신기도 비슷한 바이어스 형태를 보이는 것으로 판단된다. 이에 비해 SCLESS와 BLIMPBE는 거의 동일한 결과를 보여준다.

## 4. 결 론

본 논문은 키너매틱 GPS 해의 정확도를 향상시키기 위해서 단일 기선측량 결과를 네트워크로 구성하고, GPS 네트워크의 계수부족을 해결하기 위하여 세가지 조정계산 방법을 적용하였다. 적용 어플리케이션의 성격에 따라 다른 방법이 적용될 수 있으며, 모든 방법에서 단일기선 측량에 비해 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 고정수신기의 좌표를 정확히 알고 있거나 또는 고정수신기의 좌표를 고시된 좌표에 고정시키고자 할 때는 BLIMPBE 방법이 유리하며, 고정수신기 좌표의 오차를 알고 있는 경우에는 SCLESS 방법을 이용하여 이동수신기의 좌표를

추정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. RLESS방법은 위의 결과에서 알 수 있듯이 고정하는 좌표의 정확도에 따라서 이동수신기의 좌표에 바이어스가 발생할 수 있으므로 네트워크측량에서는 적합하지 않은 것으로 생각된다. 본 논문에서 기술한 방법은 기존의 측량방법을 그대로 사용하면서도 필요에 따른 조정방법을 사용함으로써 별도의 GPS관련 프로그램 개발없이도 기존 키너매틱 결과를 향상시킬 수 있었다. 또한 본 연구에서 제시된 방법은 키너매틱 뿐만 아니라 정지측량에서도 동일하게 적용할 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2006년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

Brzezinska, D., Kashani, I. and Wielgosz, P. (2004), Analysis of the Network Geometry and Station Separation for Network-Based RTK, *ION National Technical Meeting*, San Diego, CA.

Dai, L., Han, S., Wang, J. and Rizos, C. (2004), Comparison of interpolation techniques in network-based GPS techniques. *Navigation*, 50(4), 277-293.

Fotopoulos, G. and Cannon, M.E. (2001), An overview of multi-reference station methods for cm-level positioning, *GPS Solutions*, 4(3), 1-10.

Gao, Y., Li, Z. and McLellan, J.F. (1997), Carrier phase based regional area differential GPS for decimeter-level positioning and navigation, *10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation*, Kansas City, Missouri,

16-19 September, 1305-1313.

Gao, Y. and Li, Z. (1998), Ionosphere effect and modeling for regional area differential GPS network, *11th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation*, Nashville, Tennessee, 15-18 September, 91- 97.

Han, S. and Rizos, C. (1996), GPS network design and error mitigation for real-time continuous array monitoring systems, *Proceedings of 9th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. Of Navigation*, Kansas City, Missouri, 17-20 September.

Marel, H. van der (1998), Virtual GPS reference stations in the Netherlands, *11th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation*, Nashville, Tennessee, 15-18 September, 49-58.

Raquet, J. (1997), Multiple user network carrier-phase ambiguity resolution, *Int. Symp. on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS-97)*, Banff, Canada, 3-6 June, 45-55.

Shaffrin, B. and Iz, H.B. (2002), BLIMPBE and its Geodetic Applications. In: *Vistas for Geodesy in the New Millennium*, Adam and Schwarz (eds.), Springer, Berlin, pp. 377-381.

Snow, K. (2002), *Applications of Parameter Estimation and Hypothesis Testing to GPS Network Adjustments*, Report No. 465, Dept. of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio.

Wanninger, L. (1995), Improved ambiguity resolution by regional differential modeling of the ionosphere, *8th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation*, Palm Springs, California, 12-15 September, 55-62.

Wübbena, G., Bagge, A., Seeber, G., Böder, V. and Hankemeier, P. (1996), Reducing distance dependent errors for real-time precise DGPS applications by establishing reference station networks, *9th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation*, Kansas City, Missouri, 17-20 September, 1845-1852.

---

(접수일 2007. 4. 28, 심사일 2007. 5. 24, 심사완료일 2007. 6. 12)