

GPS 측량기를 이용한 고속스테틱법에 의한 공공기준점 측량 및 응용

Application of Rapid Static Method on Minor Control Point Surveying Using the Global Positioning System

최윤수* · 김경진**

Choi, Yun-Soo · Kim, Kyoung-Jin

요 旨

단시간의 관측으로 해석이 가능한 고속스테틱 측량을 실시할 때에는 고가의 2주파 수신기가 필수적이었으나 최근에 이 문제점을 해결할 수 있는 GPS 측량기와 해석 소프트웨어가 개발되어 1주파형 GPS측량기를 이용한 고속스테틱 관측을 해석할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 실제 현장실험을 통하여 단측스테틱 측량의 정밀도와 작업 효율 등을 비교, 검토하여 공공기준점 측량에의 적용가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

By this time, in order to measure baseline in a few minutes, we must have used expensive dual frequency receiver. Recently, low-priced single frequency receiver have taken place of dual frequency receiver at short baseline by advancement in software development, improvements in geodetic survey receiver system. In this study, according to the observation time and measurement interval, we analyzed differences of each components of baseline by field experiment and we propose the criterion for the minor control point surveying by single frequency GPS receiver.

1. 서 론

최근 전자통신기술, 우주기술 등의 급속한 발달은 측량 기기 및 측량기술 분야에도 비약적인 발전을 가져와 GPS측량, 고해상도 위성영상을 이용한 기술, GIS기술 등 측량의 고도화, 다양화를 더욱 촉진시키고 있다. 특히 측량분야에서는 새로운 작업방법 및 기기의 채용, 정보화 추진, 안전의 확보, 국제화에 대응, 자연환경 보호 등의 관점에서 GPS측량기의 활용이 더욱 더 확대되고 있다.

특히 공공기준점 측량은 토탈스테이션을 이용한 측량에서 GPS 측량기를 사용한 측량이 주류가 되고 있다. 즉, GPS측량은 종래의 방법에 비해 효율적으로 고 정밀도의 측량성공을 얻을 수 있으며 관측 점간의 시통

이 불필요하고, 선점에 있어서 종래의 측량과 달리 관측 점에서의 상공시계가 열려있으면(도심부, 산간부에서는 곤란) 측점사이의 지형, 지물 등을 고려할 필요가 없다. 더욱이, 관측 점간의 시통을 확보하기 곤란한 경우에도 직접 상대위치관계를 구하는 것이 가능하게 되었다.

일반적으로 관측시간이 오래 걸리는 스테틱 측량과는 달리 단시간의 관측으로 해석이 가능한 단측스테틱 측량을 실시할 때에는 고가의 2주파 수신기가 필수적이었다. 그러나 최근에는 이 문제점을 해결할 수 있는 GPS 측량기와 해석 소프트웨어가 개발되어 1주파형 GPS측량기를 이용해 고속스테틱 관측을 해석할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 새롭게 개발된 소프트웨어를 이용하여 고속스테틱 측량의 정밀도와 작업효율 등을 비교, 검토하여 공공기준점 측량에의 실용화에 대해서 고찰하였다.

*국립안성산업대학교 토목공학과 교수

**성균관대학교 대학원 석사과정

2. 고속스테틱법

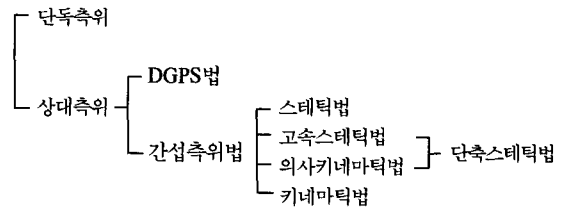
2.1 GPS측량의 현황

GPS측량기를 이용한 위치 결정의 이용법에 대해 정리하면 다음과 같다. GPS측량기를 이용한 측량 방법은 크게 나누어 단독측위와 상대측위로 분류할 수 있다. 단독측위는 수신기 1대로 관측 점의 위치를 구하는 방법이며, 상대측위는 수신기 2대 이상을 이용하여 관측 점간의 상대위치를 구하는 방법이다. 또한 상대측위는 DGPS 방식과 간섭측위 방식으로 구분된다. 공공측량에서의 GPS측량은 간섭측위로 실시된다. 간섭측위 방식에는 정적인 방법의 스테틱법, 단측 스테틱법과, 동적인 방법의 키네마틱법으로 나누어진다. 현재, 간섭측위에 의한 측량방식은 실 작업에 사용되고 있으며 해석기술은 급속하게 발달되어 진보하고 있다. 또한, DGPS방식에 관해서는 지금의 단계에서 공공측량에 대응가능한 정밀도에 미치지 못하지만, 여러 기관에서 연구가 진행되고 있다. 일부에서는 고속스테틱법과 의사키네마틱법을 단측스테틱법으로 분류하기도 한다.

최근에는 후처리와 측량 중에 고정국과 이동국의 수신기가 언제나 4개 이상의 위성으로부터 계속적으로 전파수신을 필요로 하는 키네마틱법이 발전되어 이동국(고정국)의 GPS데이터를 무선으로 고정국(이동국)에 송신하여 수 Epoch 후에 이동국의 상대적인 위치가 결정되는 RTK(Real Time Kinematic)법이 개발되었다. 특히, OTF(On The Fly)법이 개발되어 이동 중 위성 전파를 계속 수신할 필요가 없어졌으나 수신기의 경량화, 정확도 등 측량분야의 이용에 다소 제한이 있다.

의사키네마틱법은 관측시간에 따른 위성의 이동량을 추정하고 정수치바이어스를 결정하기 위하여 각 관측점을 1시간 정도의 간격을 두고 2회 관측하는 방법으로 2회 관측시 공통된 4개 이상의 위성으로부터 수신을 해야 하기 때문에 현실적으로 측량현장에서 적용하기 어려운 방법이다.

종래에는 위성위치의 시간적 변화 대신에 위성위치의 공간적 변화를 이용하여 정수치바이어스를 결정하는 고속스테틱법에는 고가의 2주파 수신기가 필수적이었으나 최근에 이 문제점을 해결할 수 있는 GPS 측량기와 해석 소프트웨어가 개발되어 1주파형 GPS측량기를 이용한 단측스테틱 측량도 가능하게 되었다.



2.2 고속스테틱의 정수치바이어스 결정

정수치바이어스의 결정방법은 몇 단계로 나눌 수 있으며 각 단계에서 몇 가지의 정수치의 조합가능성을 검토하고 반복적으로 표준편차를 계산하여 충분히 수렴 여부를 판단한다.

1. 위상해: 코드정보에 의한 해에서 수신기위치를 계산한다.
2. 반송파위상 플로트해(Carrier phase float solution): 정수치바이어스와 미지점 좌표를 최소제곱법으로 동시에 구하면 정수치바이어스는 일반적으로 실수해(Float)가 된다.
3. 바이어스 확정(Bios fixing): 바이어스 추정치와 표준편차로부터 가능성 있는 정수치를 선정하고 그 중 몇 개의 조합을 가정하여 최소제곱법에 의한 잔차가 최소가 되는 것을 확정한다. 잔차의 콘트라스트에 의하여 조합의 타당성을 평가한다. 이 때문에 고속스테틱에서는 가능한 많은 수의 위성을 이용하여 정확도를 향상시킨다.
4. Wide lane solution: 와이드레인으로 확정된 바이어스치를 사용하여 L1의 정수치바이어스를 최소제곱법으로 추정한다.
5. Carrier phase 위상 최종해 (Carrier phase final solution): 확정된 정수치바이어스를 이용하여 최소제곱법으로 기선벡타해를 추정한다.

2.3 측위오차와 위성배치

관측치에 포함된 오차는 기준이 되는 위성의 위치에 오차가 있기 때문이다. 고속스테틱법은 관측시간이 짧은 것이 특징이나 이로 인한 위성배치가 측정치에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

위성배치가 측위오차에 영향을 미치는 것은 측위오차나 위성궤도오차가 있어도 측정에 사용하는 위성이 보이는 방향에 따라서 측정지점의 측위오차가 다른 것과 같다. 측거데이터의 오차나 궤도오차가 측위결과에

주는 영향은 오차전파의 법칙에 따르며 다음과 같다. 일반적으로 y 가 독립변수 x_1, x_2, \dots, x_n 의 함수라면 다음과 같다.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2-1)$$

오차전파법칙에 따라서 x_1 의 오차가 y 에 미치는 영향은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_{y_2} = & \left(\frac{\alpha f}{\alpha x_1} \right)^2 \sigma_{x_1^2} + \left(\frac{\alpha f}{\alpha x_2} \right)^2 \sigma_{x_2^2} + \dots \\ & + \left(\frac{\alpha f}{\alpha x_n} \right)^2 \sigma_{x_n^2} + 2 \frac{\alpha f}{\alpha x_1} \cdot \frac{\alpha f}{\alpha x_2} \alpha_{x_1 x_2} \\ & + 2 \frac{\alpha f}{\alpha x_2} \cdot \frac{\alpha f}{\alpha x_3} \alpha_{x_2 x_3} + \dots \\ & + 2 \frac{\alpha f}{\alpha x_{3-1}} \cdot \frac{\alpha f}{\alpha x_3} \alpha_{x_{3-1} x_3} \end{aligned} \quad (2-2)$$

σ_{x_i} 는 위성까지 측정거리의 분산이고 $\sigma_{x_{ij}}$ 는 위성 i , 위성 j 에 관한 측정거리의 공분산으로

- 1) 위성 i 의 거리측정이 위성 j 의 거리측정에 미치는 요인
- 2) 양위성의 거리측정에 공통으로 미치는 오차요인 이상의 것을 다시 한번 행렬로 나타내면

$$A \cdot x = \delta R \quad (2-3)$$

이고

$$\delta x = A^{-1} \cdot \delta R \quad (2-4)$$

이다. 따라서 δx 의 분산은

$$\text{Cov}(\delta R) = A^{-1} \text{Cov}(\delta R) \cdot (A^{-1})^T \quad (2-5)$$

최소제곱법의 관점에서 보면 중량계수행렬을 이용하여 좌향과 우향의 분산·공분산의 관계를 말할 수 있다. 이 때, $\text{Cov}(\delta R)$ 가 단위행렬인 경우를 고려하면 이것은 각 위성의 측거데이터의 단위 오차이고 또 그들이 상호 무상관임을 의미한다.

이 경우 식 (2-5)의 좌향은 $(A^T \cdot A)^{-1}$ 이 되고 이것이 중량계수행렬이다. 행렬 A 는 대부분 위성과 측정점간의 시선의 방향여현이고 이것은 오차가 위성의 공간배치에 의존하는가를 나타낸 것이다.

이 중량계수행렬에서 GDOP(Geometrical Dilution of Precision)을 정의하고 위성의 배치가 측정정도에 어느

정도의 영향을 주는가를 나타낸다. 구체적으로, GDOP는 중량계수행렬의 Trace(대각요소의 합)의 평방근으로 정의된다. 즉,

$$\begin{aligned} \text{GDOP} &= [\text{Trace}(A^T \cdot A)^{-1}]^{1/2} \\ &= (\alpha x^2 + \sigma y^2 + \alpha z^2 + \sigma t^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (2-6)$$

이다.

식 (2-5)에서, $\text{Cov}(\delta R)$ 가 단위행렬, 다시 말하면 위성까지의 거리측정에 무상관이고, 또 단위의 오차를 포함하는 경우, GDOP을 구성하는 각항 σ_{xx} 등은 측거오차가 측정된 각 좌표성분에 어떤 영향을 주는가의 중량에 상당한다.

GDOP을 분해하여 공간좌표에 관한 부분과 시계에 관한 부분으로 나누면 다음과 같다.

$$\text{PDOP} = (\alpha x^2 + \sigma y^2 + \alpha z^2)^{1/2} \quad (2-7)$$

$$\text{TDOP} = \sigma t \quad (2-8)$$

PDOP은 Position Dilution of Precision 이고, TDOP의 T는 Time을 의미한다. GDOP은 천공에 5개 이상의 위성이 있을 때 그 중에서 4개 위성을 관측에 사용하는 선택기준이 된다. 실제 수신기 내부에 연산프로그램을 내장하여 GDOP을 계산하면서, 측정하고 있다. 따라서 GDOP가 최소가 되는 조합의 위성을 사용한다.

3. 실험의 목적

아직 단측 스테틱법 등 GPS를 이용한 공공기준점 측량은 공공측량 작업 규정에는 정의되어 있지 않으나 관측방법이나 기선 해석 소프트웨어는 매일 진보되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 1주파형 수신기를 사용해서 단측 스테틱법의 공공측량분야에의 적용가능성을 파악하고 2주파에 의한 단측스테틱법과 비교하여 관측 정밀도나 관측 시간 등을 분석한다. 간단히 1주파형과 2주파형의 해석방법(정수치 바이어스의 결정방법)에 대해 구별하면, 2주파형은 1주파형의 해석방법에 L1대와 L2대의 반송파위상을 선형 결합하여 실제로는 없는 가상의 주파수를 만들어, 와이드레인(86cm)의 긴 파장을 이용하여 정수치 바이어스를 결정하고 최종 해는 L1대에서 구하는 방법을 택하고 있다.

선형 결합의 대표적인 예.

와이드레인은 L1대와 L2대의 주파수차

1575.42 Mhz - 1227.6 Mhz = 347.82 Mhz(86.3 cm)

네로우레인은 L1대와 L2대의 주파수합

1575.42 Mhz + 1227.6 Mhz = 2803.02 Mhz(10.7 cm)

1주파형의 경우는, 단독측위기능 및 DGPS법의 기능을 이용해서 해를 구하는 방법이나 위성을 조합하는 방법을 병용해서 정수치 바이어스를 결정한다. 또한, 이 방법은 단축 스테틱법 뿐만 아니라 스테틱법에도 이용되고 있다. 스테틱법은 지금까지와 같이 단순히 위성의 이동만을 이용해서 정수치 바이어스를 결정하는 경우는 적어지고 있다. 본 논문에서는 일본 공공측량작업규정을 준용하여 우리 실정에 맞는 데이터수신간격, 관측시간, 해석방법 등 GPS측량기를 이용한 공공기준점 측량의 적용가능성을 검토하고자 한다.

4. 실험 관측

4.1 최적 수신간격 결정

실험 관측은 단축스테틱법에 관한 정밀도에 대해서 해석시간, 해석수법(1주파 관측과 2주파 관측), 데이터 수신간격 등의 차이에 의한 해석치의 변화를 고찰하였다. 데이터수신간격(Meas. Interval)은 3초, 5초, 15초로 설정하였고, 해석시간은 단일주파수(Single Frequency)의 경우는 10분, 20분, 30분으로 설정하고 각각 10회씩 해석하였으며 2주파(Dual Frequency)의 경우는 2분, 5분, 10분, 15분, 20분으로 설정하고 역시 각각 10회씩 해석하였다. 시간설정은 표 1과 같다.

관측장소는, 멀티패스(Multipath)나 전파방해가 없는 클리어한 데이터를 취득하기 위해, 시가지를 피한 미사리 조정경기장을 택하였다. 관측에 사용된 기재는 다음

표 1. Processing time table (hour : min)

Number of processing	Start	2 min	5 min	10 min	15 min	20 min
1	4:20	4:22	4:25	4:30	4:35	4:40
2	4:40	4:42	4:45	4:50	4:55	5:00
3	5:00	5:02	5:05	5:10	5:15	5:20
4	5:20	5:22	5:25	5:30	5:35	5:40
5	5:40	5:42	5:45	5:50	5:55	6:00
6	6:00	6:02	6:05	6:10	6:15	6:20
7	6:20	6:22	6:25	6:30	6:35	6:40
8	6:40	6:42	6:45	6:50	6:55	7:00
9	7:00	7:02	7:05	7:10	7:15	7:20
10	7:20	7:22	7:25	7:30	7:35	7:40

표 2. Reference baseline component.

Name of baseline	DS	DX	DY	DZ
3 sec	1548.286 m	-1179,345 m	70.733 m	-1000.668 m
5 sec	1697.552 m	-1386.648 m	-116.304 m	- 972.299 m
15 sec	2309.275 m	-1849.423 m	- 72.360 m	-1380.997 m

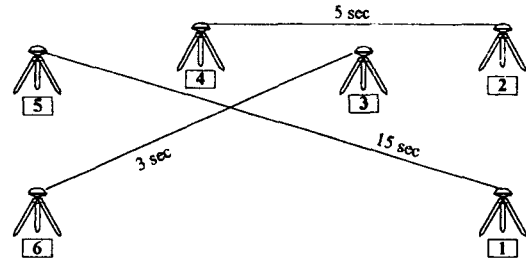


그림 1. Position of Recivers

과 같다.

GPS측량기 : 톰콘 Turbo SII 6대

안테나 : Compact L1/L2 w G/P 6대

PC : Pentium 166 Mhz

해석소프트웨어 : Trimble GPSurvey Ver 2.2

4.1.1 기선길이의 결정

기선길이는 톰콘 Turbo S II 수신기 6대를 사용하여 스테틱법에 의하여 6시간 관측을 실시하고 기준이 될 기선을 결정하였다. 수신간격은 3초, 5초, 15초로 설정하였다. 기선에 따른 수신기의 배치는 그림 1에 나타나 있으며 각 기선의 성분은 표 2와 같다.

4.1.2 관측시간 및, 수신간격에 의한 해석결과

일본의 공공측량 작업규정을 준용하면 단축 스테틱법의 관측시간은 1급 GPS측량기를 사용 2주파 해석을 표준으로한 관측시간이다. 본 연구에서는 2급 GPS측량기에 관한 관측시간이 타당한가를 검토하였고 1급 GPS측량기에 의한 2주파 해석의 관측시간에 대해서도 고찰하였다. 작업규정에 기재된 관측시간 등은 다음 표 3과 같다.

4.1.3 1주파 해석(Single frequency processing)

표 3. Observation time and meas. interval in specification.

관측방법	관측시간	수신간격	통용
스테틱	60분이상	30초이하	1-4 급기준점측량
단축스테틱	20분이상	15초이하	3-4 급기준점측량
키네마틱	1분이상	5초이하	4급 기준점 측량

해석시간은, 일본 공공측량 작업규정에서 표준으로 되어 있는 20분을 토대로 설정했다. 설정한 시간은 10분, 15분, 20분의 3해석으로 했다. 해석데이터는 톱콘 Turbo S II 수신기에 의하여 수신간격 3초, 5초, 15초로 취득한 6시간 관측의 데이터를 구분해서 사용하였다.

1) 해석 비교 검토

해석시간(Processing Time)과 데이터수신간격(Meas. Interval)에 의한 해석결과는 표 4, 5, 6과 같다. 각 관측 시간에 대한 해석 결과의 평균치와 기준 해석치와 비교 하면 각 성분에 대해 양호한 결과를 얻을 수 있다. 또, 관측치의 교차를 보면, 관측시간에 따라서 다소의 격차가 보인다. 각 성분에서 보면 3 sec기선과 5 sec기선에서는 10분, 15분, 20분 해석 모두 작업규정의 각 성분의 비교치 25 mm를 충분히 만족시키는 값이었다. 그러나 15sec 기선에서는 기준치를 초과하는 값들이 여러 번 측정되었다. 관측치의 표준편차에 대해서 보면, 관측시간에 의한 변화는 나타나지만 큰 차이는 나타나지 않았다. 그림 2는 해석시간 20분에서 데이터수신간격(Meas. Interval)에 따른 각 성분의 기준해석치와 교차를 나타낸다.

표 4에서는 수신간격을 3초로 하여 관측된 데이터를 1주파 해석한 결과를 보여주고 있다. 20분 관측의 경우 최대교차가 6 mm로서 기준치를 충분히 만족하는 결과

표 4. Comparison of results versus occupation time (single frequency, meas. interval 3 sec.)
(hour : min)

Processing time	10 min (10)	15 min (10)	20 min (10)	
Average	Ds	1548.287 m	1548.287 m	1548.287 m
	Dx	-1179.344 m	-1179.344 m	-1179.344 m
	Dy	70.730 m	70.731 m	70.731 m
	Dz	-1000.668 m	-1000.668 m	-1000.668 m
Maximum	Ds	1548.291 m	1548.290 m	1548.290 m
	Dx	-1179.340 m	-1179.340 m	-1179.342 m
	Dy	70.733 m	70.735 m	70.733 m
	Dz	-1000.666 m	-1000.666 m	-1000.666 m
Minimum	Ds	1548.284 m	1548.284 m	1548.284 m
	Dx	-1179.349 m	-1179.347 m	-1179.347 m
	Dy	70.728 m	70.729 m	70.730 m
	Dz	-1000.671 m	-1000.671 m	-1000.671 m
Difference	Ds	0.007 m	0.006 m	0.006 m
	Dx	0.009 m	0.007 m	0.005 m
	Dy	0.005 m	0.006 m	0.003 m
Standard deviation	Ds	±2.62 mm	±2.28 mm	±2.06 mm
	Dx	±3.43 mm	±2.67 mm	±1.81 mm
	Dy	±1.99 mm	±1.70 mm	±0.94 mm
	Dz	±1.52 mm	±1.73 mm	±1.89 mm

였다. 표 5는 수신간격 5초로 하여 관측된 데이터를 1주파 해석한 결과로서 20분 관측결과의 최대교차가 8 mm였다. 표 6은 수신간격을 15초로 한 경우이며 20분

표 5. Comparison of results versus occupation time (single frequency, meas. interval 5 sec.)
(hour : min)

Processing time	10 min (10)	15 min (10)	20 min (10)	
Average	Ds	1697.553 m	1697.553 m	1697.553 m
	Dx	-1386.651 m	-1386.650 m	-1386.650 m
	Dy	-116.304 m	-116.305 m	-116.305 m
	Dz	-972.296 m	-972.296 m	-972.296 m
Maximum	Ds	1697.554 m	1697.555 m	1697.554 m
	Dx	-1386.643 m	-1386.645 m	-1386.645 m
	Dy	-116.301 m	-116.303 m	-116.303 m
	Dz	-972.292 m	-972.293 m	-972.294 m
Minimum	Ds	1697.548 m	1697.549 m	1697.550 m
	Dx	-1386.655 m	-1386.654 m	-1386.652 m
	Dy	-116.308 m	-116.310 m	-116.311 m
	Dz	-972.300 m	-972.299 m	-972.299 m
Difference	Ds	0.006 m	0.006 m	0.004 m
	Dx	0.012 m	0.009 m	0.007 m
	Dy	0.007 m	0.007 m	0.008 m
	Dz	0.008 m	0.006 m	0.005 m
Standard deviation	Ds	±1.90 mm	±1.64 mm	±1.08 mm
	Dx	±3.57 mm	±2.95 mm	±2.45 mm
	Dy	±2.42 mm	±2.55 mm	±2.39 mm
	Dz	±2.59 mm	±2.04 mm	±1.89 mm

표 6. Comparison of results versus occupation time (single frequency, meas. interval 15 sec.)
(hour : min)

Processing time	10 min (10)	15 min (10)	20 min (10)	
Average	Ds	2309.273 m	2309.274 m	2309.274 m
	Dx	-1849.421 m	-1849.421 m	-1849.421 m
	Dy	-72.359 m	-72.359 m	-72.359 m
	Dz	-1380.995 m	-1380.996 m	-1380.997 m
Maximum	Ds	2309.290 m	2309.290 m	2309.288 m
	Dx	-1849.410 m	-1849.412 m	-1849.411 m
	Dy	-72.350 m	-72.351 m	-72.351 m
	Dz	-1380.989 m	-1380.989 m	-1380.989 m
Minimum	Ds	2309.260 m	2309.262 m	2309.262 m
	Dx	-1849.437 m	-1849.437 m	-1849.433 m
	Dy	-72.368 m	-72.368 m	-72.367 m
	Dz	-1381.006 m	-1381.005 m	-1381.006 m
Difference	Ds	0.030 m	0.028 m	0.026 m
	Dx	0.027 m	0.025 m	0.022 m
	Dy	0.018 m	0.017 m	0.016 m
	Dz	0.017 m	0.016 m	0.017 m
Standard deviation	Ds	±11.76 mm	±11.18 mm	±10.76 mm
	Dx	±9.68 mm	±9.31 mm	±8.48 mm
	Dy	±5.47 mm	±5.04 mm	±5.33 mm
	Dz	±6.69 mm	±6.61 mm	6.90 mm

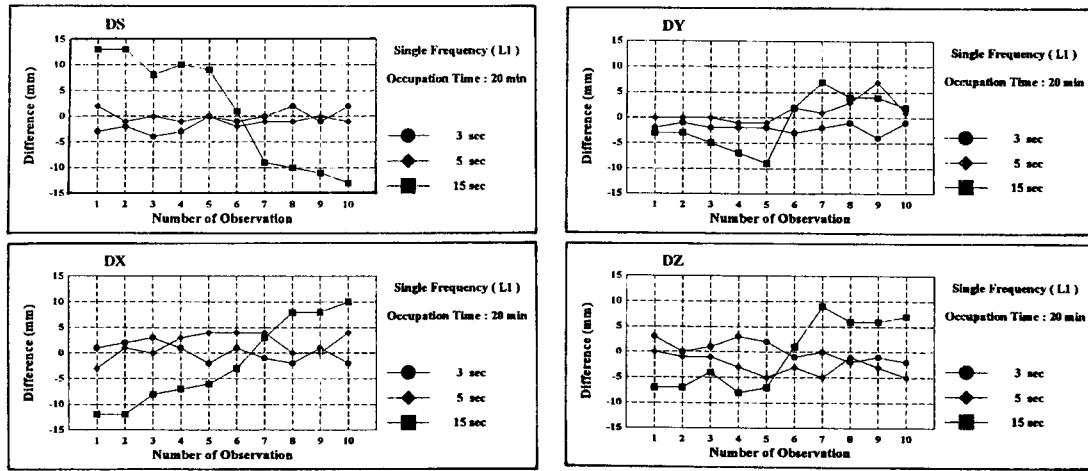


그림 2. Difference of components with reference baseline (single frequency, occupation time 20 min.)

관측에서의 최대 교차가 26 mm로 앞의 두 경우에 비하여 상대적으로 큰 교차를 보였다.

4.1.4 2주파 해석(Dual frequency processing)

해석시간(Processing Time)은 2분, 5분, 10분, 15분, 20분으로 설정하였으며 데이터수신간격(Meas. Interval)은 1주파 해석(Single Frequency Processing)과 같이 3초, 5초, 15초로 하였다.

1) 해석 비교 검토

해석 시간에 따른 해석결과는 표 7, 8, 9와 같다. 모든 기선에 대해서 2분간의 해석시간에서 점검계산의 허용범위(중복하는 기선 벡터들의 각 성분의 비교차)인 25 mm를 충분히 만족시킨 결과로 되었다. 표준편차를 봐도 양호한 치였다. 데이터수신간격에 따른 비교는 1주파 해석과 마찬가지로 3초와 5초에서는 비슷한 경

표 7. Comparison of results versus occupation time(dual frequency, meas. interval 3 sec.)

Processing time		(hour : min)				
		2 min (10)	5 min (10)	10 min (10)	15 min (10)	20 min (10)
Average	Ds	1548.286 m	1548.286 m	1548.286 m	1548.286 m	1548.287 m
	Dx	-1179.341 m	-1179.342 m	-1179.342 m	-1179.341 m	-1179.344 m
	Dy	70.731 m	70.732 m	70.730 m	70.729 m	70.731 m
	Dz	-1000.671 m	-1000.669 m	-1000.670 m	-1000.670 m	-1000.669 m
Maximum	Ds	1548.298 m	1548.296 m	1548.295 m	1548.294 m	1548.293 m
	Dx	-1179.333 m	-1179.331 m	-1179.332 m	-1179.323 m	-1179.338 m
	Dy	70.745 m	70.745 m	70.749 m	70.747 m	70.743 m
	Dz	-1000.657 m	-1000.660 m	-1000.661 m	-1000.661 m	-1000.662 m
Minimum	Ds	1548.279 m	1548.279 m	1548.278 m	1548.279 m	1548.283 m
	Dx	-1179.352 m	-1179.353 m	-1179.351 m	-1179.351 m	-1179.350 m
	Dy	70.722 m	70.723 m	70.721 m	70.710 m	70.727 m
	Dz	-1000.683 m	-1000.681 m	-1000.676 m	-1000.683 m	-1000.677 m
Difference	Ds	0.019 m	0.017 m	0.017 m	0.015 m	0.010 m
	Dx	0.019 m	0.022 m	0.019 m	0.028 m	0.012 m
	Dy	0.023 m	0.022 m	0.028 m	0.037 m	0.016 m
	Dz	0.026 m	0.021 m	0.015 m	0.022 m	0.015 m
Standard deviation	Ds	±5.72 mm	±5.26 mm	±5.68 mm	±4.97 mm	±3.40 mm
	Dx	±7.26 mm	±7.36 mm	±6.69 mm	±7.83 mm	±3.81 mm
	Dy	±6.90 mm	±7.13 mm	±8.72 mm	±9.37 mm	±5.08 mm
	Dz	±7.96 mm	±6.88 mm	±5.62 mm	±6.38 mm	±4.45 mm

표 8. Comparison of results versus occupation time(dual frequency, meas. interval 5 sec.)

(hour : min)

Processing time		2 min (10)	5 min (10)	10 min (10)	15 min (10)	20 min (10)
Average	Ds	1697.553 m	1697.552 m	1697.552 m	1697.553 m	1697.553 m
	Dx	-1386.650 m	-1386.649 m	-1386.649 m	-1386.648 m	-1386.650 m
	Dy	-116.306 m	-116.307 m	-116.307 m	-116.307 m	-116.306 m
	Dz	-972.296 m	-972.297 m	-972.297 m	-972.299 m	-972.297 m
Maximum	Ds	1697.559 m	1697.557 m	1697.554 m	1697.557 m	1697.557 m
	Dx	-1386.640 m	-1386.642 m	-1386.644 m	-1386.641 m	-1386.647 m
	Dy	-116.299 m	-116.30 m	-116.301 m	-116.30 m	-116.301 m
	Dz	-972.294 m	-972.294 m	-972.294 m	-972.296 m	-972.294 m
Minimum	Ds	1697.545 m	1697.546 m	1697.549 m	1697.550 m	1697.550 m
	Dx	-1386.660 m	-1386.656 m	-1386.653 m	-1386.654 m	-1386.655 m
	Dy	-116.318 m	-116.315 m	-116.313 m	-116.313 m	-116.311 m
	Dz	-972.30 m	-972.299 m	-972.30 m	-972.306 m	-972.299 m
Difference	Ds	0.014 m	0.011 m	0.005 m	0.007 m	0.007 m
	Dx	0.020 m	0.014 m	0.009 m	0.013 m	0.008 m
	Dy	0.019 m	0.015 m	0.012 m	0.013 m	0.010 m
	Dz	0.006 m	0.005 m	0.007 m	0.010 m	0.005 m
Standard deviation	Ds	±4.48 mm	±3.07 mm	±1.63 mm	±2.27 mm	±2.38 mm
	Dx	±6.48 mm	±4.13 mm	±2.46 mm	±3.65 mm	±2.85 mm
	Dy	±6.35 mm	±5.18 mm	±4.52 mm	±4.39 mm	±3.84 mm
	Dz	±1.84 mm	±1.78 mm	±2.13 mm	±2.74 mm	±1.78 mm

표 9. Comparison of results versus occupation time(dual frequency, meas. interval 15 sec.)

(hour : min)

Processing time		2 min (10)	5 min (10)	10 min (10)	15 min (10)	20 min (10)
Average	Ds	2309.273 m	2309.273 m	2309.273 m	2309.274 m	2309.277 m
	Dx	-1849.418 m	-1849.418 m	-1849.418 m	-1849.424 m	-1849.421 m
	Dy	-72.363 m	-72.361 m	-72.361 m	-72.358 m	-72.365 m
	Dz	-1380.999 m	-1380.999 m	-1380.999 m	-1380.994 m	-1381.001 m
Maximum	Ds	2309.297 m	2309.296 m	2309.290 m	2309.290 m	2309.290 m
	Dx	-1849.407 m	-1849.407 m	-1849.407 m	-1849.412 m	-1849.413 m
	Dy	-72.352 m	-72.350 m	-72.351 m	-72.337 m	-72.354 m
	Dz	-1380.988 m	-1380.991 m	-1380.990 m	-1380.944 m	-1380.990 m
Minimum	Ds	2309.262 m	2309.259 m	2309.261 m	2309.263 m	2309.263 m
	Dx	-1849.449 m	-1849.450 m	-1849.438 m	-1849.455 m	-1849.434 m
	Dy	-72.381 m	-72.378 m	-72.373 m	-72.370 m	-72.387 m
	Dz	-1381.010 m	-1381.010 m	-1381.008 m	-1381.008 m	-1381.010 m
Difference	Ds	0.035 m	0.037 m	0.029 m	0.027 m	0.027 m
	Dx	0.042 m	0.043 m	0.031 m	0.043 m	0.021 m
	Dy	0.029 m	0.028 m	0.022 m	0.033 m	0.033 m
	Dz	0.022 m	0.019 m	0.018 m	0.064 m	0.020 m
Standard deviation	Ds	±11.23 mm	±11.66 mm	±10.56 mm	±10.09 mm	±10.50 mm
	Dx	±12.43 mm	±13.01 mm	±10.22 mm	±14.03 mm	±8.24 mm
	Dy	±10.83 mm	±10.53 mm	±7.33 mm	±9.83 mm	±9.73 mm
	Dz	±6.63 mm	±6.11 mm	±5.96 mm	±18.53 mm	±6.73 mm

향을 보였지만 15초에서는 상대적으로 큰 차이를 보일 수 있다. 그림 3은 해석시간 20분에서 데이터를 알 수 있었다.

수신간격에 따른 각 성분의 기준해석치와의 교차를 나타낸다.

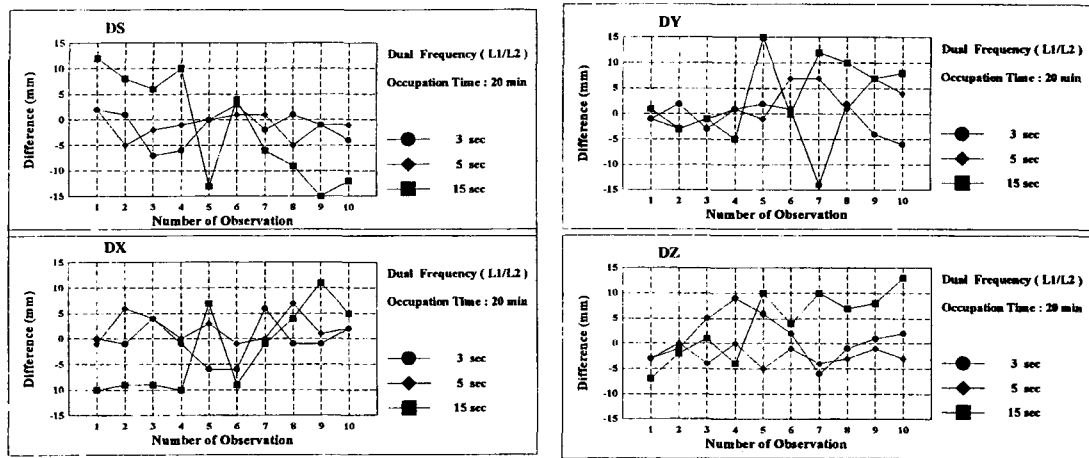


그림 3. Difference of components with reference baseline (dual frequency, occupation time 20 min.)

표 7은 수신간격 3초로 하여 관측된 데이터를 2주파 해석한 결과이다. 20분 관측에서 최대교차가 15 mm로서 기준치인 25 mm를 만족하는 결과이다. 표 8은 수신간격 5초로 관측된 데이터를 2주파 해석한 결과로서 20분 관측의 최대교차는 10 mm였다. 표 9는 수신간격 15초로 관측된 데이터를 2주파 해석한 결과로서 20분 관측의 최대교차가 33 mm로 나타나, 1주파 해석과 마찬가지로 수신간격 3초, 5초의 경우에 비하여 상대적으로 큰 교차가 발생함을 알 수 있었다.

그림 3은 20분 관측에서 수신간격에 따른 기선 각 성분의 변화를 보여주고 있다.

4.1.5 해석방법에 따른 결과의 비교

단축 스테틱법에서, 1급 GPS 측량기를 이용한 해석

방법은 L1대, L2대의 2주파 관측을 하여, 2주파의 조합에서 정수치 바이어스를 구하는 방법을 취하고 있다. 또, 2급 GPS 측량기를 이용한 해석방법은, 기본적으로 스테틱법과 별차이가 없는 기법을 채택하고 있다. 1주파에 의한 해석이 가능한 이유는, 컴퓨터의 진보에 따라서 여러 해석방법의 조합이 단시간에 가능해졌으며, 위성의 배치가 완료되었기 때문이다.

따라서 해석 방법에 의한 해석결과의 변화 즉, L1만을 이용하여 해를 구하는 방법과, L1 과 L2대를 모두 이용해서 Ambiguity를 결정하는 방법을 비교한다.

그림 4에서는 수신간격 5초, 관측시간 20분인 10회의 관측에 대하여 L1만을 이용한 경우와 L1과 L2를 모두 이용하여 해석한 결과의 각성분의 변화를 보여주고

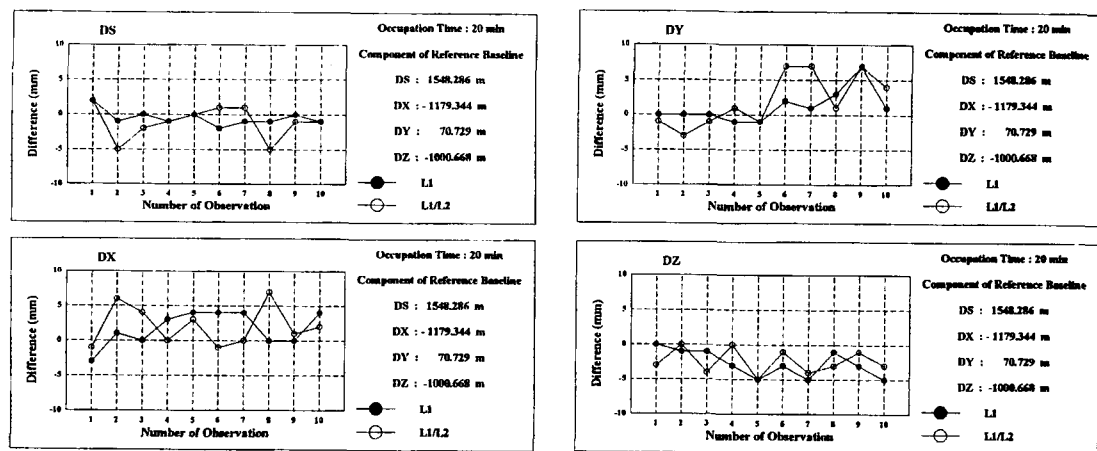


그림 4. Comparison of single/dual frequency processing

있다. 기선길이, dx, dy, dz성분의 변화를 보면 L1만을 이용한 경우와 L1과 L2를 모두 이용한 경우의 차이가 없음을 알 수 있다.

4.2 일주파 수신기에 의한 관측

앞의 실험에서 얻어진 최적 수신간격 및 최소 관측시

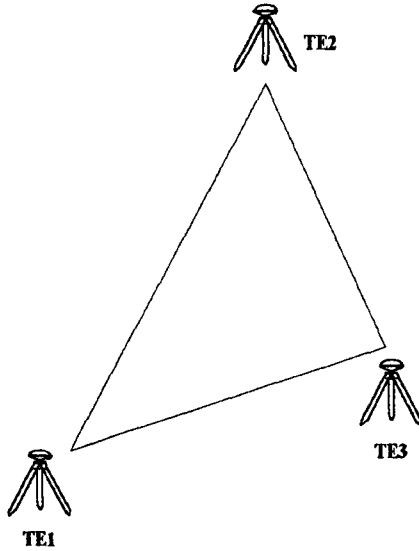


그림 5. Network map of single frequency receiver test

간을 토대로 실제 1주파형 수신기를 이용하여 3-4급 공 공기준점 측량에 적용될 수 있는지를 검토하였다.

각 점간의 거리가 100 m 에서 300 m 까지인 3개의 기선을 5시간 관측하여 기선의 재현성 및 환폐합차를 검사하여 관측의 정밀도를 고찰하였다. 데이터 수신간격은 5초로 설정하였으며 사용한 장비는 다음과 같다.

GPS측량기 : Trimble 4000SE 3대

안테나 : Compact Dome 3대

PC : Pentium 166 Mhz

해석소프트웨어 : Trimble GPSurvey Ver 2.2

4.2.1 기선 해석 결과

기준이 되는 기선을 결정하기 위하여 일주파형 수신기를 이용하여 스테틱모드에서 5시간동안 관측을 실시하였다. 기선해석 결과는 표 9와 같다.

4.2.2 재현성 검사

관측된 데이터에 대하여 관측시간에 따라 재현성 검사를 실시하였다. 표 10은 기선길이 100 m에서의 관측

표 9. Reference baseline component

Baseline	Distance	Dx	Dy	Dz
TE1 TE2	293.887 m	-29.75 m	189.417 m	-222.723 m
TE1 TE3	232.046 m	-86.345 m	111.286 m	-184.406 m
TE3 TE2	103.806 m	56.595 m	78.131 m	-38.318 m

표 10. Baseline repeatability (baseline length : 103 m)

Processing time		5 min	10 min	15 min	20 min
Average	ds	103.697 m	103.851 m	103.803 m	103.805 m
	dx	56.601 m	56.626 m	56.593 m	56.594 m
	dy	77.979 m	78.176 m	78.129 m	78.130 m
	dz	-38.321 m	-38.302 m	-38.316 m	-38.318 m
Maximum	ds	104.576 m	104.171 m	103.982 m	103.807 m
	dx	57.397 m	56.988 m	56.767 m	56.600 m
	dy	78.737 m	78.375 m	78.245 m	78.137 m
	dz	-37.978 m	-38.228 m	-38.297 m	-38.309 m
Minimum	ds	102.675 m	103.730 m	103.599 m	103.802 m
	dx	56.041 m	56.431 m	56.397 m	56.587 m
	dy	77.020 m	78.118 m	78.010 m	78.122 m
	dz	-38.619 m	-38.329 m	-38.326 m	-38.324 m
Difference	ds	1.901 m	0.441 m	0.383 m	0.005 m
	dx	1.356 m	0.557 m	0.370 m	0.013 m
	dy	1.717 m	0.257 m	0.235 m	0.015 m
	dz	0.641 m	0.101 m	0.029 m	0.015 m
Standard deviation	ds	±480.23 mm	±118.16 mm	±81.86 mm	±1.56 mm
	dx	±366.28 mm	±128.43 mm	±79.17 mm	±3.57 mm
	dy	±462.82 mm	±87.32 mm	±50.32 mm	±4.31 mm
	dz	±185.43 mm	±34.58 mm	±8.32 mm	±3.94 mm

시간에 따른 기선 각 성분의 재현성을 나타낸다. 5분, 10분, 15분 관측에서는 교차가 크게 나타났으며 20분 관측에서는 허용범위인 25 mm를 충분히 만족하는 결과를 보였다. 표 11은 기선길이 230 m에서의 관측시간

에 따른 기선 각 성분의 재현성을 나타낸다. 15분 이상 관측에서 허용범위를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 표 12는 기선길이 292 m에서의 관측시간에 따른 기선 각 성분의 재현성을 나타낸 것으로서 15분 이상에서

표 11. Baseline repeatability (baseline length : 232 m)

Processing time		5 min	10 min	15 min	20 min
Average	ds	232.079 m	232.053 m	232.046 m	232.046 m
	dx	-86.288 m	-86.350 m	-86.345 m	-86.345 m
	dy	111.444 m	111.289 m	111.286 m	111.286 m
	dz	-184.377 m	-184.409 m	-184.405 m	-184.405 m
Maximum	ds	232.421 m	232.091 m	232.049 m	232.048 m
	dx	-84.956 m	-86.166 m	-86.339 m	-86.339 m
	dy	113.098 m	111.496 m	111.291 m	111.292 m
	dz	-184.122 m	-184.393 m	-184.400 m	-184.401 m
Minimum	ds	231.863 m	232.043 m	232.042 m	232.043 m
	dx	-87.089 m	-86.574 m	-86.350 m	-86.349 m
	dy	110.615 m	111.100 m	111.280 m	111.280 m
	dz	-184.605 m	-184.467 m	-184.412 m	-184.411 m
Difference	ds	0.558 m	0.048 m	0.007 m	0.005 m
	dx	2.133 m	0.408 m	0.011 m	0.010 m
	dy	2.483 m	0.396 m	0.011 m	0.012 m
	dz	0.483 m	0.074 m	0.012 m	0.010 m
Standard deviation	ds	±141.72 mm	±14.13 mm	±2.16 mm	±1.54 mm
	dx	±534.12 mm	±87.53 mm	±3.06 mm	±2.83 mm
	dy	±623.79 mm	±84.65 mm	±4.02 mm	±3.76 mm
	dz	±131.52 mm	±19.01 mm	±3.82 mm	±3.36 mm

표 12. Baseline repeatability (baseline length : 232 m)

Processing time		5 min	10 min	15 min	20 min
Average	ds	293.917 m	293.904 m	293.887 m	293.887 m
	dx	-29.642 m	-29.756 m	-29.750 m	-29.750 m
	dy	189.502 m	189.444 m	189.416 m	189.417 m
	dz	-222.704 m	-222.721 m	-222.724 m	-222.723 m
Maximum	ds	294.378 m	294.077 m	293.891 m	293.892 m
	dx	-28.593 m	-29.464 m	-29.744 m	-29.745 m
	dy	190.288 m	189.804 m	189.427 m	189.425 m
	dz	-222.563 m	-222.681 m	-222.714 m	-222.714 m
Minimum	ds	293.280 m	293.826 m	293.883 m	293.884 m
	dx	-30.335 m	-30.006 m	-29.756 m	-29.756 m
	dy	188.422 m	189.224 m	189.408 m	189.409 m
	dz	-222.979 m	-222.772 m	-222.734 m	-222.730 m
Difference	ds	1.098 m	0.251 m	0.008 m	0.008 m
	dx	1.742 m	0.542 m	0.012 m	0.011 m
	dy	1.866 m	0.580 m	0.019 m	0.016 m
	dz	0.416 m	0.091 m	0.020 m	0.016 m
Standard deviation	ds	±289.21 mm	±60.88 mm	±2.42 mm	±2.35 mm
	dx	±448.17 mm	±119.23 mm	±3.83 mm	±3.55 mm
	dy	±500.68 mm	±133.76 mm	±5.82 mm	±5.01 mm
	dz	±129.34 mm	±23.53 mm	±5.80 mm	±4.37 mm

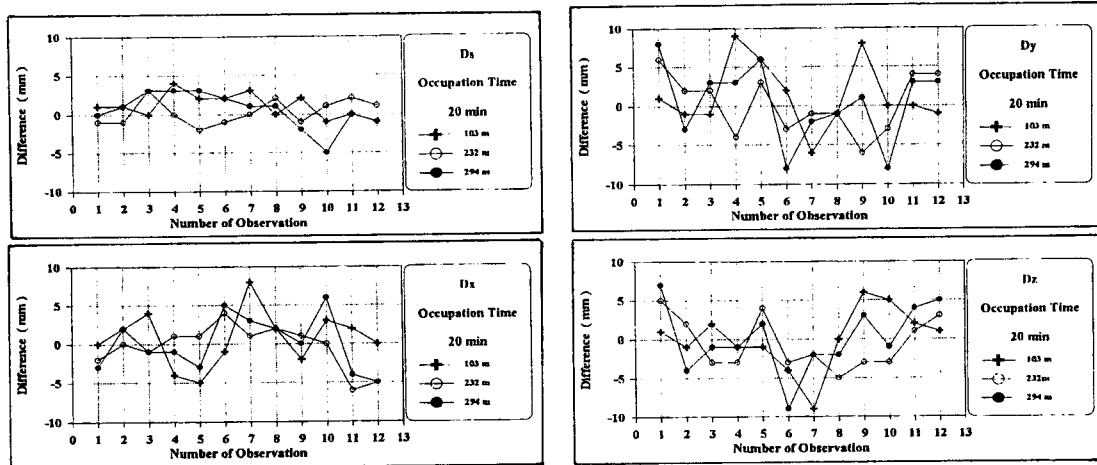
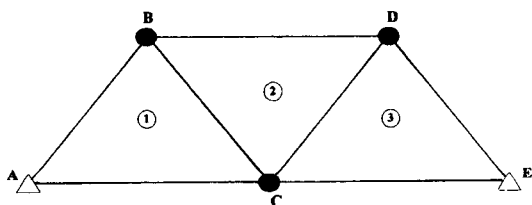


그림 6. Baseline repeatability



허용범위를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

4.3 작업효율 분석

실 작업하는 경우를 생각해 보면, 15분의 관측으로 허용오차를 만족하는 결과가 얻어졌으나, 관측조건 등에 따라서 관측시간을 연장하는 것이 필요하다. 관측시간의 효과를 보면 만약, 관측조건을 고려해 30분 관측한 경우 스테틱법의 1시간과 비교하면 1/2 이다. 또, 단노선 방식의 기준점측량에 있어서 토탈스테이션에 의한 경우, 관측자 3명, 수신기 3대로 관측할 경우와 비교하면 GPS측량이 효율적이다.

GPS관측=3세션×20분=60분

TS 관측=4관측점×15분=60분

여기서, GPS관측은 1세션 20분, TS관측은 1관측의 소요시간을 15분으로 가정하였으며 이동 등에 걸리는 시간은 고려하지 않았다.

5. 결 론

본 연구 결과를 종합해보면 다음과 같다.

1. 데이터수신간격

- 1주파 해석의 경우 수신간격 3초, 5초에서는 기준치를 만족시키는 양호한 결과를 얻을 수 있었으며 수신간격 15초에서는 기준치를 초과하는 값들이 여러 번 측정되었다.

- 2주파 해석의 경우 수신간격 3초, 5초, 15초 모두 기준치를 만족시키는 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

2. 관측시간

- 1주파 해석에 있어서 관측시간은 데이터수신간격 5초를 기준으로 하였을 때 15분 이상 관측에서 모두 기준치를 만족시키는 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

- 2주파 해석에 있어서 관측시간은 1주파와 마찬가지로 데이터수신간격 5초를 기준으로 하였을 때 2분 이상 관측에서 모두 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

3. 해석기법

- 1주파 해석과 2주파 해석의 결과에 있어 데이터수신간격 5초, 해석시간 20분을 기준으로 하였을 때 큰 차이는 없었다.

4. 공공측량에의 적용

- 고속스테틱법의 공공기준점 측량에의 적용가능성이 확인되었다.

- 작업효율면에서 토탈스테이션을 사용하는 경우보다 효율적이다.

이상을 종합하면 1주파 수신기를 이용한 단측스테틱법도 공공기준점측량에 충분히 적용할 수 있으며 지역의 특성을 고려하여 토탈스테이션을 병용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 향후에 공공기준점의 미지점간격(등급)에 따른 실험관측 및 분석이 요망된다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 1996년도 신진연구비 지원에 의하여 수행되었기에 학술진흥재단에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. 土屋 淳 外, GPS測量の基礎, 日本測量協會, 1996
2. 日本測地學會, 現代測地學, 日本測地學會, 1994
3. 土屋 淳 外, GPS測量と基線解析の手引, 日本測量協會, 1992
4. 建設省公共測量作業規定解説と運用, 日本測量協會, 1996
5. 日本測地學會, 新訂版 GPS, 日本測量協會, 1989
6. 箱岩英一外, GPS測量の標準化に関する研究, APA No. 59-12, pp.77-83, 1994
7. 飯村三友郎, 擬似キネマティック法と高速スタティツ法の基準点測量への應用利用, 日本國土地理院時報 No. 79, pp.1~6, 1994
8. FGCC, Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, 1989
9. B.Hofmann-Wellenhof, GPS, Springer-Verlag, 1994
10. Alfred Leick, GPS Satellite Surveying, JOHN WILEY & SONS, 1995
11. Trimble, Training Manual : GPSurvey Software 2.2, Trimble, 1996
12. Trimble, Training Manual : TRIMNET Plus, Trimble, 1997
13. 김용일 외 2명, 1 주파수에 의한 기선측정 유효범위에 관한 연구, 한국측지학회 No. 12-2, pp.163-172, 1997
14. 강준목 외 2명 ; GPS에 의한 지적측량기준점의 위치해석, 한국측지학회지 No.14-2, pp.209~218, 1996