

위성항법시스템을 이용한 대상지별 단기선 정확도 분석

The Accuracy Analysis of Each Test Area Short Baseline Using Satellite Navigation System

박 운 용
Park, Woon Yong

차 성 렬
Cha, Sung Yeoul

홍 순 현
Hong, Soon Heon

要 旨

GPS(Global Positioning System)가 토목공사, 기준점 측량, 구조물 변형등 측지 및 측량분야에 활용성이 우수하다는 것은 여러 연구 결과에서 입증되었지만, 고층 빌딩이 산재한 도심지나 공장지역등 GPS 위성신호의 수신이 최소 4개 이하로 떨어지는 장소에서서의 GPS 정적 위치결정 정확도는 현저히 떨어진다는 것을 알 수 있다.

따라서 GPS 위성과 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)를 결합하여 위성의 가시성을 높여 보다 많은 위치 정보를 획득하여 향상된 정적 위치결정 정확도를 얻으려 한다. 그 결과 GPS/GLONASS 결합시스템으로 도심지에서 다중경로, 신호의 고도각, 가시위성 부족에 의한 위치결정정확도를 저하하는 것을 향상시켰다.

ABSTRACT

GPS proved to very practical in the application of geodesy and surveying such Civil Engineering, control point surveying and the deformation surveying of structure, but the accuracy of static GPS positioning is degraded at the sites which the visible satellites of GPS are less than 4, i.e. the urban area covered with the high building and the industrial zone.

Thus, the combined GPS/GLONASS system was introduced to acquire the high accuracy of static positioning by a few satellites. So the combined GPS/GLONASS system show the good results at the sites which the accuracy of positioning is degraded due to few satellites, the cutoff of signal, and multipath in the urban area

1. 서론

GPS(Global Positioning System)는 토목공사, 기준점 측량, 구조물 변형등 측지 및 측량분야에 활용성이 우수하다는 것은 여러 연구 결과에서 입증되었다. 하지만 고층 빌딩이 산재한 도심지나 공장지역에서는 GPS 위성신호의 수신 이 최소 4개 이하로 떨어지는 장소에서 GPS 정적 위치 결정 정확도는 현저히 떨어진다는 것을 알 수 있다. 여기서 GPS 위성보다 궤도 경사각이 커서 북

방구 지역의 여러 나라에 더욱 유리하고, 궤도 정보를 30분마다 위치, 속도, 가속도 업데이트하는 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)를 GPS와 결합하여 위성의 가시성을 높여 보다 많은 위치 정보를 획득하여 정적 위치결정 정확도를 얻으려 한다.

따라서, 본 연구에서는 GPS/GLONASS 결합에 의한 장소별 측 개할지, 주거지 및 아파트촌에서 절대 측위 정밀도를 분석하여 항법 및 측지 분야에서 그 효율성을 제시하고 GPS와 GLONASS에 대한 시

* 동아대학교 공과대학 토목해양공학부 교수 ** 양산대학 건설교통정보과 부교수
*** 밀양대학교 토목공학과 조교수

시스템의 특성을 비교하고 기준 좌표계, 시간 및 주파수 체계의 특성을 고찰하고 좌표계 및 주파수의 상이로 인해 발생하는 문제점을 해결하기 위한 절대측위 알고리즘을 정립하였다. 또한 위성 가시성과 위성 수신 고도각에 영향을 미칠 수 있는 지역을 선정하여 정확도를 분석하여 GPS/GLONASS 결합의 실제 적용 가능성을 검토하고자 한다.

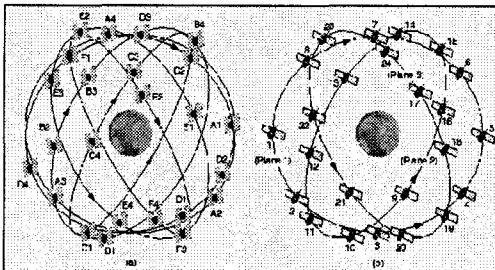
2. 위성항법 시스템

2.1. 시스템 비교

가. 위성체계 비교

GLONASS는 GPS와 같이 우주부, 통제부, 그리고 사용자부로 이루어져 있다. Fig. 1은 GPS와 GLONASS 위성의 배치를 나타냈다.

Fig. 2에서 보여주듯이 고위도 지역에서는 적도지역보다 2~4개 정도 많은 위성수를 관측할 수 있다.



(a) GPS (b) GLONASS

Fig1. GPS and GLONASS satellite constellation

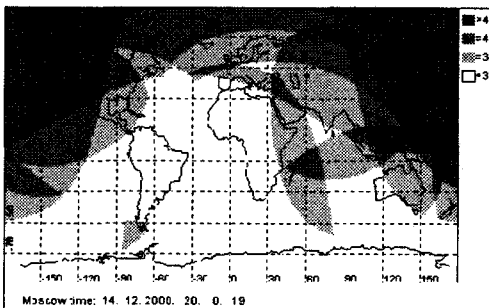


Fig. 2. Satellite distribution of GLONASS

나. 위성신호 비교

GLONASS와 GPS의 신호구조는 다음 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Satellite signal for GLONASS and GPS

	GLONASS	GPS
Carrier frequency	L1:1602 .. 1615.5MHz L2:1246 .. 1256.5MHz	L1 : 1575.42MHz, L2 : 1227.60MHz
Code	C/-code on L1, P-code on L1 and L2, same code for all satellites	C/A-code on L1, P-code on L1 and L2, different codes for each satellites
Satellite separation technique	FDMA	CDMA
Code frequency	C/A-code:0.511 MHz, P-code : 5.11 MHz	C/A-code:1.023MHz, P-code:10.23 MHz
System time correction of UTC	UTC(SU)	UTC(USNO)
Satellite clock correction	clock offset, frequency offset	clock offset, frequency offset, frequency rate
Orbit parameters	every 30 minutes, satellite position, satellite velocity satellite acceleration	every 60 minutes, modified Keplerian elements

다. GPS, GLONASS 기준계 변환

방송궤도력을 이용해서 GLONASS와 GPS를 결합하기 위해 PZ-90과 WGS 84 사이의 변환계수가 알려져 있어야 한다. 이 관계식은 Table 2에 나타내었다

Table 2. Transformation Parameter from PZ-90 to WGS-84

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{WGS84} = \begin{pmatrix} -0.47m \\ -0.51m \\ -1.56m \end{pmatrix} + (1 + 22 \times 10^{-9}) \begin{pmatrix} 1 & -1.728 \times 10^{-6} & -0.017 \times 10^{-6} \\ 1.728 \times 10^{-6} & 1 & 0.076 \times 10^{-6} \\ 0.017 \times 10^{-6} & -0.076 \times 10^{-6} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}_{PZ90}$$

GPS와 GLONASS 위성의 궤도를 향상시킬 때, 궤도기준계는 고정점 좌표로 정의된다. 만약 동일집합의 측정좌표가 GPS와 GLONASS 위성궤도 결정에 사용되면, 두 체계를 결합할 때 더 이상 변환계수를 필요로 하지 않는다.

라. GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위

GPS와 GLONASS를 조합하여 자료처리하기 위해서는 GLONASS 위성좌표계를 WGS84좌표계로 변환할 필요가 있다. 따라서 조합관측으로 자료처리할 때, GLONASS와 GPS 사이의 시간관계가 명확해야 하며, 의사거리 방정식은 식 1과 같이 변경된다.

$$P_k^i = c \cdot \tau_k^i + c \cdot \Delta t_k - c \cdot \Delta t^i + c \cdot \Delta t^s \quad (1)$$

여기서, $\Delta t^s = t_{GPS} - t_{GLONASS} - n$

$n = \text{leap seconds} (t_{GPS} - t_{UTC})$

조합 관측의 경우는 수신기 시계오차에 추가적으로 GPS와 GLONASS의 시간 차이가 포함되므로 3차원 위치결정을 위해 최소 5대 이상의 위성이 관측되어야 한다.

3. 실험 및 분석

3.1. 실험지역 선정

GPS와 GLONASS 위치결정시스템을 이용하여 위치별 정적 위치결정을 위해 실험장소로 개할지역으로는 최근에 택지조성을 한 신호공단지역(a)과 주거지역은 일반 주택지역(b)과 아파트지역(c)을 3군데를 장소로 선정하여 정확도를 분석하여 GPS 단독측위와 GPS/GLONASS 결합의 검사점에 대한 기선의 잔차 및 위성의 고도각에 따른 기선의 잔차를 검토하였다.

3.1.1 자료 수집 및 관측장비

GPS와 GLONASS는 각각 현재 27개, 9개가 활동

하고 위성의 분포에 따른 위성의 기하분포도 다양하여 정밀도 저하율(DOP : Dilution of Position)등도 차이를 보이고 있다. Fig. 3,4,5에서는 GPS와 GLONASS에 대해 각 대상지별로 DOP(GDOP, PDOP, VDOP, HDOP, TDOP)을 나타내었으며 Table 3에서는 실험에 사용한 수신기와 안테나 사양을 Legacy(JAVAD)사의 사용설명서에 명시되어 있는 것을 나타내었다.

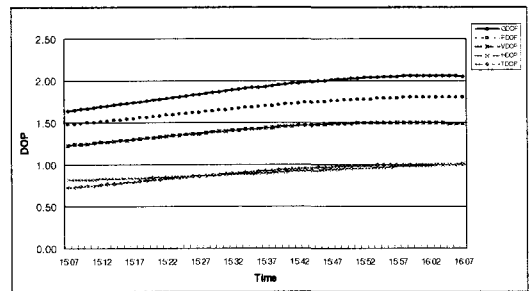


Fig 3. DOP(Open Sky area)

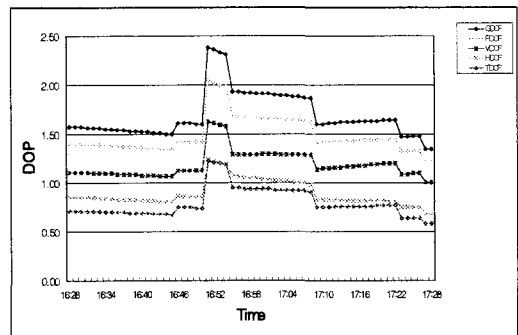


Fig 4. DOP(Semi-Urban area)

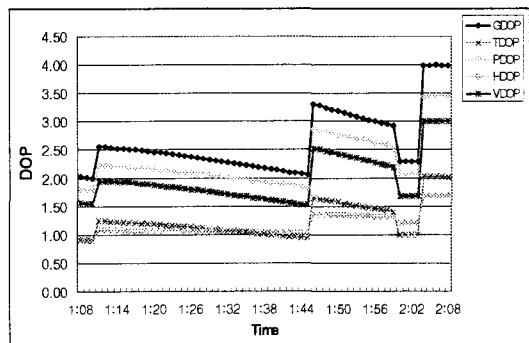


Fig 5. DOP(Apartment area)

Table 3. The Specification of receiver and antenna

	Receiver	Antenna
Type	Legacy(JAVAD)	LegAnt
Tracking channel	40 L1 channels 20 L1+L2 channels GPS/GLONASS	
Signals Tracked	L1/L2 C/A and P Code and Carrier	
Accuracy	Horizontal Static 3 mm+1ppm($\times D$) for dual frequency Rapid Static 5 mm+1ppm($\times D$) for single frequency Kinematic 10 mm+1.5ppm($\times D$) for dual frequency 15 mm+1.5ppm($\times D$) for single frequency Vertical 5 mm+1.5ppm($\times D$) for dual frequency 6 mm+1.5ppm($\times D$) for single frequency	

3.2 실험 및 분석

3.2.1 기선처리

우선 단기선의 정확도 분석을 위해 Total Station 을 이용하여 각각의 지역에 (a)지역에는 50×14.0m, (b)지역에는 50×16.0m, (c)지역에도 50×16.5m 정사각형을 미리 검사점으로 설치한 후 각 지점에 LEGACY-E 수신기와 LEGANT 안테나를 검사점에 설치하여 epoch 15초로 하여 20분간 2session으로 관측되었다. 관측된 세 지역의 자료처리는 GeoGenius S/W를 이용하여 분석하였고, 처리된 관측 기선을 Fig. 6, 7, 8에 도시하였다.

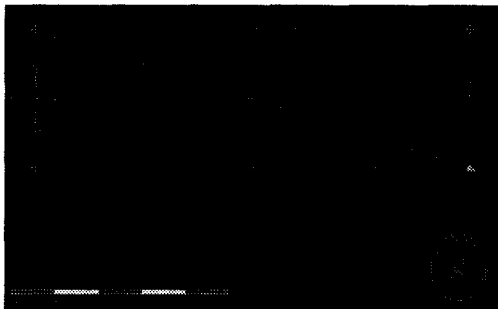


Fig. 6. Network(Open Sky area)

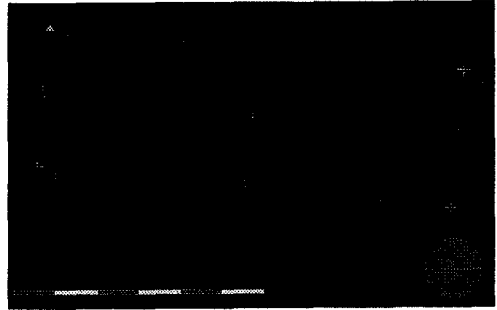


Fig. 7. Network(Semi-Urban area)

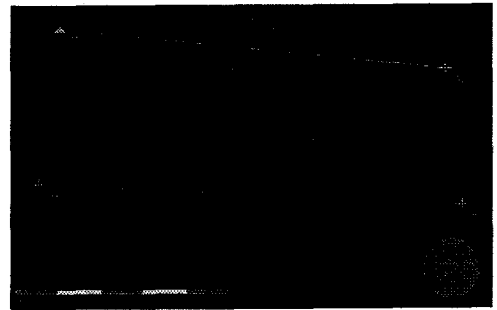


Fig. 8. Network(Apartment area)

위와 같이 기선처리된 결합망을 볼 때 오차타원은 (a)지역에서는 9.0mm, (b)지역은 19.0mm, (c)지역은 127.0mm였다. 각 대상지별로 기선벡터를 구하여 검사점과의 잔차를 구하여 Table 4, 5, 6에 나타내었다. 그리고 Table에서 GG는 GPS/GLONASS의 약자로 사용하였다.

Table 4. Differences of baseline vector(Open Sky area)

Line	Check Point (m)	GG L1/L2	GG L1	GPS L1/L2	GPS L1
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
O3-O1	51.923	51.916	51.910	51.917	51.916
		+0.007	+0.013	+0.006	+0.007
O1-O2	50.000	49.998	49.993	49.997	49.995
		+0.002	+0.007	+0.003	+0.005
O3-O2	14.000	14.001	14.005	14.001	14.002
		-0.001	+0.005	-0.001	-0.002
O1-O4	14.000	13.996	13.990	13.996	13.994
		+0.004	+0.010	+0.004	+0.006
O3-O4	50.000	50.003	50.011	50.002	50.004
		-0.003	-0.011	-0.002	-0.004

Table 5. Differences of baseline vector (Semi-Urban area)

Line	Check Point (m)	GG L1/L2	GG L1	GPS L1/L2	GPS L1
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
S1-S3	52.498	52.492	52.490	52.492	52.490
		+0.006	+0.008	+0.006	+0.008
S3-S4	50.000	50.007	49.776	50.010	49.521
		-0.007	+0.224	-0.010	+0.479
S1-S4	16.000	15.971	15.896	15.978	15.849
		+0.029	+0.104	+0.022	-0.151
S3-S2	16.000	15.946	16.005	16.032	15.970
		-0.054	-0.005	+0.032	+0.006
S1-S2	50.000	49.956	49.891	49.908	49.678
		+0.044	+0.109	-0.092	+0.322

Table 4에서는 (a)지역에서의 기선벡터를 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 모든 기선이 아주 우수한 결과를 나타냈으며, Table 5에서는 (b)지역에서의 기선벡터를 나타내었다. 여기서는 GG결합시 GPS 단독 관측시보다 잔차량이 적은 것을 알 수 있으며 이주파와 일주파의 차이는 확연히 차이가 나타났다.

Table 6. Differences of baseline vector (Apart-ment area)

Line	Check Point (m)	GG L1/L2	GG L1	GPS L1/L2	GPS L1
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
A1-A3	52.652	51.416	50.814	51.416	50.814
		+1.236	+1.838	+1.236	+1.838
A1-A4	16.500	17.510	16.438	17.510	16.438
		-1.010	+0.162	-1.010	+0.162
A4-A3	50.000	49.995	48.655	49.995	48.655
		+0.005	+1.445	+0.005	+1.445
A1-A2	50.000	45.794	45.794	45.794	45.794
		+4.206	+4.206	+4.206	+4.206
A2-A3	16.500	-	-	-	-
		-	-	-	-

Table 6에서는 (c)지역에서의 기선벡터를 나타내었다. 이 곳에서는 고층건물에 의한 위성인 가시성, 다중경로와 신호차단의 문제로 어느 기법이든지 간에 잔차가 크게 나타났으며 A2-A3은 측점 A2에서의 자료취득이 불량한 관계로 처리가 되지 않았다.

아래 Fig. 9, 10, 11은 각 대상지별로 잔차를 도시

하였다. (a)지역에서는 GG결합시 최고 0.007m이고 GPS 단독 측위시 최고 0.006m (b)지역에서는 GG결합시 최고 0.054m 이고 GPS 단독 측위시 최고 0.092m이었다. 그리고 (c)지역에서는 전체 망조정이 되지 않은 관계로 잔차를 비교하기가 어렵다.

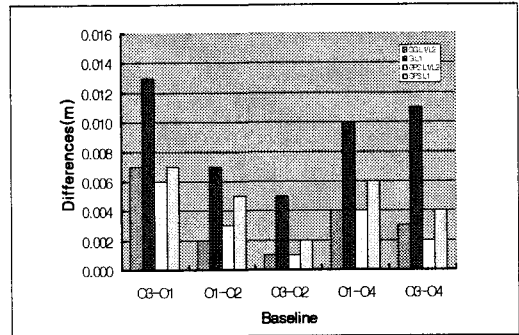


Fig. 9. Comparison of positioning method (Open Sky area)

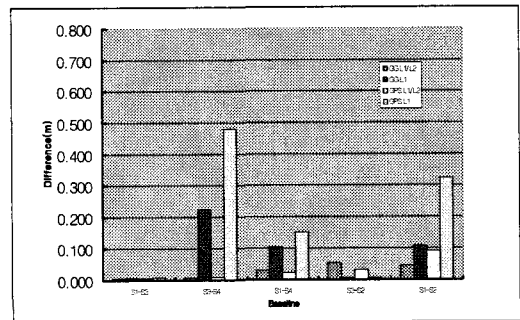


Fig. 10. Comparison of positioning method (Semi-Urban area)

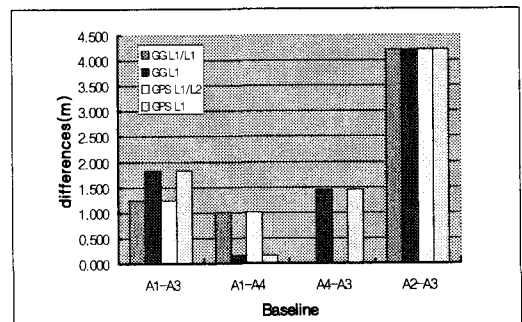


Fig. 11. Comparison of positioning method (Apart-ment area)

3.2.2 고도각에 따른 기선처리

위성항법시스템에 안테나가 위성신호를 취득할 때 수평에서 어느 정도의 각도에서 가장 취득률이 높은 지를 알기 위해 검사점간의 거리를 이용하여 고도각에 의해 취득률에 의해 측정간의 기선 잔차를 구해 비교분석하여 Table 7, 8, 9, 10, 11, 12에 나타내었다.

(a) 지역에서는 고도각의 영향이 미세하게 나타났다. 즉 40° 인 경우에는 최고 0.014mm 정도 잔차가 발생하였으며 (b)지역에서는 GG의 경우 고도각을 크게 할 경우에도 최고 0.167m의 잔차를 보였지만 GPS 단독측위에서는 고도각을 크게 할 경우에 엄청난 잔차를 보여주고 있다.

Table 7. Baseline vector Differences with Cut off (GG-Open Sky area)

Line	Check Point (m)	10°	20°	30°	40°
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
O3-O1	51.923	51.916	51.914	51.912	51.912
		+0.007	+0.009	+0.011	+0.011
O1-O2	50.000	49.998	49.995	49.995	49.993
		+0.002	+0.005	+0.005	0.005
O3-O2	14.000	14.001	14.010	14.012	14.014
		-0.001	-0.010	-0.012	-0.014
O1-O4	14.000	13.996	13.991	13.991	13.989
		+0.004	+0.009	0.009	0.011
O3-O4	50.000	50.003	49.995	49.995	49.990
		-0.003	+0.005	+0.005	0.010

Table 8. Baseline vector Differences with Cut off (GPS-Open Sky area)

Line	Check Point (m)	10°	20°	30°	40°
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
O3-O1	51.923	51.917	51.916	51.912	51.911
		+0.006	+0.007	+0.011	+0.012
O1-O2	50.000	49.997	49.995	49.995	49.993
		+0.003	+0.003	+0.005	+0.005
O3-O2	14.000	14.001	14.010	14.012	14.012
		-0.001	-0.010	-0.010	-0.012
O1-O4	14.000	13.996	13.991	13.991	13.988
		+0.004	+0.009	+0.009	+0.012
O3-O4	50.000	50.002	49.997	49.995	49.988
		-0.002	+0.003	+0.005	+0.012

Table 9. Baseline vector Differences with Cut off (GG-Semi Urban area)

Line	Check Point (m)	10°	20°	30°	40°
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
S1-S3	52.498	52.492	52.492	52.485	52.480
		+0.006	+0.006	+0.015	0.02
S3-S4	50.000	50.007	50.007	50.010	50.018
		-0.007	-0.007	-0.010	-0.018
S1-S4	16.000	15.971	15.971	15.900	15.850
		+0.029	+0.029	+0.100	+0.150
S3-S2	16.000	15.946	16.047	16.105	16.128
		+0.054	-0.047	-0.105	+0.128
S1-S2	50.000	49.956	49.918	49.883	49.833
		+0.044	+0.082	+0.117	0.167

Table 10. Baseline vector Differences with Cut off (GPS-Semi Urban area)

Line	Check Point (m)	10°	20°	30°	40°
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
S1-S3	52.498	52.492	52.492	52.485	52.485
		+0.006	+0.006	+0.013	+0.013
S3-S4	50.000	50.010	50.010	38.257	38.257
		-0.010	-0.010	+21.743	+21.743
S1-S4	16.000	15.978	15.978	20.283	20.283
		+0.022	+0.022	-4.283	-4.283
S3-S2	16.000	16.032	16.032	20.982	20.982
		+0.032	+0.032	-4.982	-4.982
S1-S2	50.000	49.908	49.908	38.696	38.696
		-0.092	-0.092	+11.304	+11.304

Table 11. Baseline vector Differences with Cut off (GG-Apartment area)

Line	Check Point (m)	10°	20°	30°	40°
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
A1-A3	52.652	51.416	50.751	50.677	-
		+1.236	+1.901	+1.975	-
A1-A4	16.500	17.510	-	-	-
		-1.010	-	-	-
A4-A3	50.000	49.995	49.078	48.965	-
		+0.005	+0.922	+1.035	-
A1-A2	50.000	45.794	45.737	45.562	-
		+4.206	+4.263	+4.438	-
A2-A3	16.500	-	-	-	-
		-	-	-	-

Table 12. Baseline vector Differences with Cut off (GPS-Apartmet area)

Line	Check Point (m)	10°	20°	30°	40°
		$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$	$\Delta d(m)$
A1-A3	52.652	51.416	50.751	50.677	-
		+1.236	+1.901	+1.975	-
A1-A4	16.500	17.510	-	-	-
		-1.010	-	-	-
A4-A3	50.000	49.995	49.078	48.965	-
		+0.005	+0.922	+1.035	-
A1-A2	50.000	45.794	45.658	45.480	-
		+4.206	+4.342	+4.520	-
A2-A3	16.500	-	-	-	-
		-	-	-	-

그리고 (c)지역에서는 잔차의 값이 너무 크고 처리가 완전하게 이루어지지 않은 관계로 크게 의미가 부각되지는 않는다

4. 결론

본 연구는 GPS 단독 위치결정시 가시위성의 부족으로 인해 자료취득률과 인접건물에 의한 신호차단 및 다중경로오차로 인해 최적의 위치결정을 하는데 문제점을 초점을 맞추어 실험 대상지별로 검사점을 설치하여 GPS와 GLONASS 결합위치결정시의 관측자료와 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 각 실험 대상지별로 기선벡터와 잔차를 분석해 본 결과 (a)에서는 GPS단독이나 GPS와 GLONASS 결합의 관측치나 별차이가 나지 않았지만 (b)에서는 GPS와 GLONASS 결합 단독측위기선분석에서 GPS 단독측위보다 우수한 결과를 취득하였다. 그리고 (c)에서는 측점A2에서의 자료취득이 불량한 관계로 비교 분석하기 어려웠다.

둘째, 고도각을 조정하여 자료처리를 하였을 때 (a) 지역에서는 단독일 경우와 결합 두 경우 모두 우수하였으며 (b)지역에서는 30° 이상일 경우에는 결합시 단독일 경우보다 월등하게 잔차를 줄일 수 있었으며 고층건물인 (c)지역에서 기선해석이 불가능한 이유를 알 수 있었다.

최근 여러 분야에서 위성측위 시스템을 널리 사용하고는 있지만 특히 도심지에 사용 시 가시위성, 신호차단 및 다중경로 오차로 인해 정확도가 떨어지는 장소에서는 GPS와 GLONASS를 결합한 위성측위 시스템을 사용하여 보다 나은 성과를 유도할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) 박운용, 임영빈, 이재원, "정밀측지측량을 위한 GPS 신속관측기법들의 활용에 관한 연구", 토목학회 논문집, 제 15권 4호, 1995, pp. 961~973.
- 2) 유복모, 조기성, 이현직, 광동욱, "수평위치 결정을 위한 망조정 해석에 관한 연구", 토목학회 논문집, 제 15권 4호, 1995, pp. 961~973.
- 3) 강준목, 박필호, 한인우, 김천휘, "GPS 측지기준점 설정에 관한 연구", 한국 측지학회 제 9권 1호, 1991, pp. 37~45.
- 4) Hall T., B. Burke, M. Pratt, and O. Misra, "Comparison of GPS and GPS+GLONASS Positioning Performance", Proceedings of ION GPS-97, 1997, pp. 1543~1550.
- 5) Beser, J., P. Rosenboom, B. Wiley., and A. Leick". Assessing GLONASS Observation", University of Maine, Proceedings of ION GPS-97, September 15-18, 1998, pp. 1605~1612.
- 6) G, Lachapelle, S. Ryan, M. Petovello and J. Stephen " Augmentation of GPS/GLONASS For Vehicular Navigation Under Signal Masking" The University of Calgary Proceedings of ION GPS-97, September pp 1511-1519

(2002년 2월 4일 원고접수)