

고가(高架)구조물의 정위치 시공을 위한 준스태틱RTK 측위의 적용성 실험

Availability Evaluation of Quasi Static RTK Positioning for Construction of High Rise Buildings and Civil Structures

김인섭*
Kim, In Seop

要 旨

초고층 건물이나 고가 구조물 상부의 정위치 측설에 주로 사용되어 왔던 광학식 TS장비는 시준선 확보의 어려움, 장거리 관측에 따른 오차의 증가 및 동적관측의 어려움 등으로 인하여 사용성이 많이 떨어지므로 최근에는 GPS를 이용한 측량방법이 제시되고 있다. 그러나 기존의 GPS측량방법들은 대부분 후처리 방법으로서 측설, 검측, 위치조정 및 확인측량 등 일련의 과정에서 시간이 과다 소요되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 RTK측위 기법을 적용하여 실시간으로 구조물의 위치를 검측하고 조정함으로써 측량으로 인한 공사의 중단을 최소화 하고, 준스태틱 RTK기법에 의한 고정밀의 측정값을 기반으로 망조정을 통해 수 mm 이내의 높은 정확도로 시공좌표를 결정함으로써 공정관리와 품질관리를 모두 충족시킬 수 있는 방법에 대해 실험 하였다. 실험결과 130m 이상 높이의 고가 구조물 상층부에서 사변망을 이루는 4점의 준스태틱 RTK 관측점을 최소제곱법으로 망조정 하면 약 2mm 내외의 정확도로 구조물 측설이 가능하므로 향후 초고층 건물이나 고가 교량등의 시공측량에 널리 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 초고층건물, 고가구조물, 준스태틱 RTK

Abstract

During precise survey on the top of High rise buildings and civil structures, optical surveying equipments like a Total Station are not recommended to use because of some reasons that uneasier alignment with reflectors located at the top of building, increasing error depends on increasement of observation distance and unavailable dynamic positioning etc. Recently various GPS positioning methods have been applied to this job however almost of them are post-processing method which is required much longer time during for whole process includes stake-out, cross checking, fixing positions and final inspections. Therefore, in this study, we applied with RTK surveying system which allows stake-out and inspection in realtime to avoid delaying of construction schedule and also applied with Quasi Static RTK measurement and network adjustment to get a high accuracy within a few millimeters in structure positioning to achieve a successful management for process and quality control of the project. As a result, very high accurate surveying for structures within approx. 2mm in realtime has been achieved when surveyor conduct a network adjustment using least square method for 4 base lines created by Quasi Static RTK data and we expect this method will be applied to construction survey for high rise buildings and civil structures in the future.

Keywords : High rise building, High rise civil structure, Quasi Static RTK

1. 서 론

고층건물이나 고가교각 등의 정위치 측설을 위한 시공측량은 주로 TS(total station)를 이용하여 도면에서 취득한 위치좌표를 시공위치에 측설하는 방식으로 실시되어 왔다. 그러나 시준 높이가 높아지게 되면 지상면으로부터의 TS 시준 각도가 확보되지 않음에 따라 구조물로부터 점점 더 멀리 떨어져 상부면을 시준하게 되므로, 반사경의 중심점을 정확히 시준할 수 없을 뿐 아니라 시준거리가 증가함에 따라 관측 정확도가 매우 떨어진다. 더욱이 세장비가 높은 구조물일수록 구조물 전체가 연속적으로 거동하는 공진상태에 이르므로 정적관측이 요구되는 TS장비로는 동적 관측에 한계를 갖는다.

이에 대한 대안으로 고정밀의 동적관측이 가능한 GPS측량 방법이 제안되고 있으며 이미 다수의 연구자에 의해 그 실험 결과가 보고되고 있다.

박필호 등의 “GPS의 변위 검출 능력에 대한 실험(1999)”에서는 약 16km의 단기선에 대해 GPS의 변위 검출 능력이 수평성분에서 약 2mm, 수직성분에서 약 8mm에 이르러 구조물의 변위측정 및 감시분야에 GPS의 적용 가능성을 검증하였고, 이창경과 김창우의 “GPS측량에 의한 해안 구조물의 정적 변위 측정에 관한 연구(2000)”와 장상규 등의 “GPS에 의한 댐 변형 모니터링의 변위 분석(2001)”에서는 방조제 및 댐구조체의 변위측정에 GPS가 cm수준에서 활용될 수 있음을 입증하였다. 그러나 이러한 연구들은 주로 GPS의 정지측량 방법에 의해 구조물의 변위를 검출하는 방법이었으며, 손홍규 등의 “GPS를 이용한 고층건물의 수평변위 모니터링 시스템(2005)”에서는 이동측량(kinematic)방법에 의해 66층 규모의 고층건물에 대한 3차원 변위 이력과 수평방향 최대 변위를 동적으로 계측하여 1cm 이내의 계측 결과를 얻기에 이르렀으나 이 또한 후처리(post process kinematic)방식으로 변위를 측정하는데 한정되었다.

한편 최병길 등은 “GPS의 OTF측위 기법에 의한 교량의 거동 측정에 관한 연구(2000)”를 통해 RTK(real time kinematic)방법에 의한 교량의 변위 계측을 시도하여 X축 0.0015m, Y축 0.0025m, Z축 0.0044m의 실시간 계측 결과를 얻었으며 Tamura 등은 “Measurement of Wind-induced response of building using RTK-GPS(2002)”연구에서 건물의 변위가 2cm 이상인 경우 RTK측정의 적용성이 높음을 분석하였다. 또한 Brownjohn 등은 “Real-time monitoring of static and dynamic displacements of an office tower,

combining RTK GPS and accelerometer data(2004)” 연구에서 건물 변위의 실시간 모니터링을 위해 RTK-GPS 2대와 풍속계, 가속도계를 동시 연결하여 측정한 결과 2대의 RTK-GPS는 서로 3mm 이내의 표준편차 내에서 작동하고 있으므로 고층건물에서의 RTK측정에 대한 신뢰성을 검증하였고, 최병길 등은 “GPS를 이용한 장대교량 실시간 거동 모니터링에 관한 연구(2010)”를 통하여 수평성분에서의 약 1cm, 수직성분에서 약 2~3cm 범위로 교량의 각 계측점에 대한 실시간 변위값을 RTK방법으로 연속 관측하고 이를 모니터링 시스템에 전송함으로써 위험신호를 감지할 수 있도록 하는 안전관리 시스템을 개발하였다.

그러나 이러한 연구들은 대부분 후처리 방식의 GPS 또는 일반 RTK-GPS를 이용하여 완공된 상태의 대형 구조물에 대한 변위계측 및 모니터링에 국한되었을 뿐, 초고층건물이나 고가 교량등의 정위치 시공을 위한 연구들은 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동적으로 거동하거나 고도각이 높음에 따라 TS등으로는 시준이 불가능한 초고층건물 또는 고가구조물의 정위치 시공에 있어 칼만필터기법이 적용된 준스태틱 RTK-GPS를 이용하여 수mm 이내의 정확도로 고가구조물 상부의 시공위치를 관리할 수 있는지의 적용성 여부에 관하여 연구하고자 한다.

2. 칼만필터 기법을 적용한 준스태틱 RTK관측

본 실험에서 적용한 RTK수신기는 Ashtech사의 ProMark500 제품으로서 수신기 내부의 RTK처리용 펌웨어에 칼만필터링 기능이 채용되어 있다. 칼만필터링 기능은 모든 RTK관측에 공히 적용되나 수신기의 이동 속도에 따라 스태틱(static)모드, 준스태틱(quasi static)모드 및 다이내믹(dynamic)모드 등 3종류의 측정모드를 선택할 수 있도록 되어 있다.

스태틱 모드는 수신기가 삼각대 또는 고정밀 폴 등에 설치되어 완전히 정지되어 있는 상태에서 RTK관측값에 대해 칼만필터가 적용되는 방법이며, 준스태틱 모드는 0.1m/s(0.36km/h)이내의 저속으로 수신기가 이동하는 상태에서 칼만필터가 적용되는 방법이다. 또한 다이내믹 모드는 걸거나 뛰는 등의 상태에서 RTK관측을 하는 모드로서 칼만필터가 작동될 수 없는 조건의 관측 방법을 말한다. 칼만필터가 작동되는 수신기의 이동속도 한계는 표 1과 같다.

표 1. 이동속도별 칼만필터의 적용 한계

구분	수평이동 최대속도 (m/s)	수직이동 최대속도 (m/s)	수평이동 최대가속도 (m/s ²)	수직이동 최대가속도 (m/s ²)
스타틱 RTK	0	0	0	0
준스타틱 RTK	0.1	0.02	0.1	0.02
다이나믹 RTK	2	0.5	1	0.5

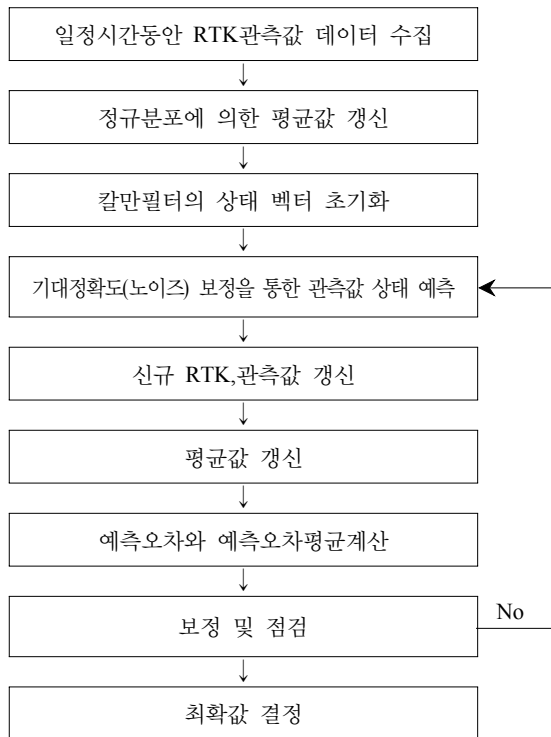


그림 1. 스태틱 RTK관측시 적용되는 칼만필터링 처리 과정

따라서 스태틱 모드 및 준스타틱 모드에서 RTK관측을 하면 수신기에서는 일정시간동안 획득한 RTK데이터의 변동식을 처리하여 시간에 따른 관측값의 변화상태를 추정하고 평균값과 예측값의 보정을 반복함으로써 최확값을 결정하게 된다. ProMark500 수신기의 펌웨어에서 처리되는 RTK관측값의 처리과정은 그림 1의 흐름도와 같다.

스타틱 모드를 사용하여 수신기가 정지된 상태에서 RTK관측을 하는 경우 고정해가 되는 시점에서 평면위치는 2~3mm, 수직위치는 5mm의 정확도로 실시간 관

측이 가능하고, 준스타틱 모드를 사용하여 수신기를 서서히 이동하는 상태에서 RTK관측을 하면 평면위치는 5~7mm, 수직위치는 15mm 정확도의 실시간 관측이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 건물이나 고가 구조물이 공진하고 있다는 가정하에서 관측을 하게 되므로 준스타틱 모드의 RTK측정을 통해 건물 상층부의 거동량을 정밀하게 관측하고, 이를 TS측정값과 비교하여 정확도를 검증한 후, 최소제곱법에 의한 엄밀 망조정을 통해 건물 상층부의 GPS설치점에 대한 시공좌표의 최확값을 결정함으로써 준스타틱RTK 기법에 의한 측량 기술의 고가구조물 시공에 대한 적용 가능성을 실험해 보고자 한다.

3. 준스타틱 RTK측위의 고가구조물 시공측량 적용성 평가

3.1 실험방법

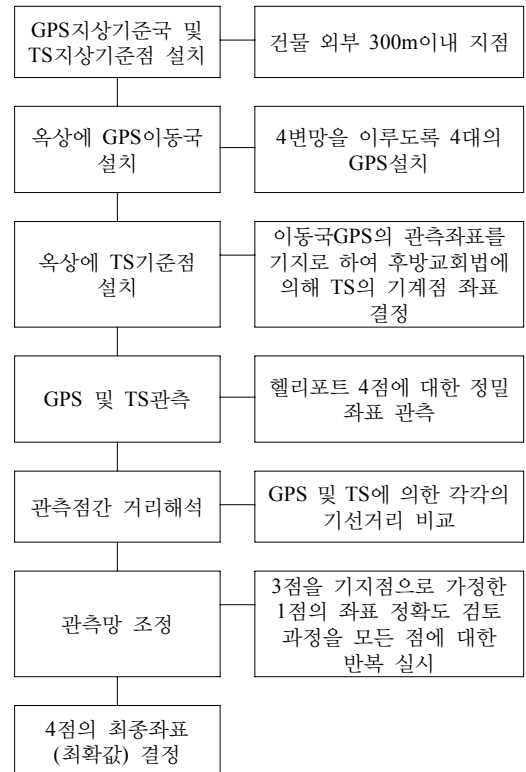


그림 2. 준스타틱 RTK측위에 의한 고가구조물 시공측량 실험 흐름도

본 연구에서는 거동이 발생되고 있을 것으로 예측되는 고가구조물의 최상부에 사변망을 이루도록 4대의 준스태틱 RTK수신기를 설치하고, RTK관측값에 의한 각 수신기간의 기선거리를 TS에 의한 기선거리와 비교하여 RTK수신기의 신뢰도를 검증한 후, 임의의 시점에 대한 RTK사변망을 선택하여 망조정을 함으로써 4점의 최확값을 결정하여 얻은 최종 좌표값의 정확도를 기반으로 준스태틱 기법에 의한 RTK측위가 고가구조물의 시공측량에 적용될 수 있는지의 여부를 평가하였다.

실험대상은 지상 38층 규모로서 건물 높이가 약 130m인 주상복합 아파트 건물을 선정하였다. 경기도 통탄시에 위치한 본 건물은 통탄하이페리온 상가아파트이며 2011년 가을 입주를 앞두고 마감공사를 하고 있는 시점이어서 실험시 위험요소가 적고 공사에도 지장을 주지 않는 등 최적의 실험장소로 판단되어 선정하게 되었으며 그림 2와 같은 순서로 실험을 실시하였다.

3.2 실험에 사용된 관측 장비

고가 구조물의 정위치 시공측량 실험을 위하여 사용한 장비의 제조사, 모델명, 규격등은 표 2와 같다.

3.3 기준국 및 이동국GPS의 좌표결정

절대좌표에 의한 건물의 시공좌표를 결정하기 위하여 기준국GPS의 좌표는 VRS-RTK방법으로 관측하였으며, 관측된 좌표를 기준국GPS 수신기에 입력하고 위치보정신호를 생성하여 UHF무선모뎀을 통해 옥상에 설치한 이동국GPS로 전송토록 하였다. 옥상에 설치된 4대의 이동국 GPS에서는 지상에 설치된 기준국 GPS로부터 전송되는 위치보정신호를 동시에 수신하여 각 지점의 좌표를 관측하였으며, 이 때 RTK방법으로 관

표 2. 용도별 사용장비

용도	장비명	규격
RTK 관측	1. RTK-GPS수신기 • 제조사 : Ashtech • 모델 : ProMark500	2주파 GNSS RTK 정확도 • 스태틱 RTK시 : 2~3mm (X,Y) • 준스태틱 RTK시 : 5~7mm (X,Y) • 일반 RTK시 : 10mm (X,Y)
	2. 무선모뎀 • 제조사 : Ashtech • 모델 : U-Link TRX	
TS 관측	1. 토탈스테이션 • 제조사 : Leica사 • 모델 : TCR802	각 측정 정확도 : 2" 거리측정 정확도 : 2mm+2ppm

측되는 옥상의 GPS관측점에 대한 정확도 평가를 위하여 TS에 의한 비교 관측을 실시하였다.

TS로 옥상점의 좌표를 관측하기 위해서는 최소 2점의 기지점이 필요하므로 VRS-RTK방법으로 후시점을 설치하고, 기준국GPS를 TS로 교체하여 지상으로부터 시준이 가능한 2개의 이동국GPS 위치에 대한 좌표를 관측하였다. 관측 결과, 표 3과 같이 RTK관측값과 TS 관측값은 X축으로 약 10cm, Y축으로는 약 3~4cm의 비교적 큰 오차를 나타내었는데, 이는 1~3cm 정도의 허용오차를 수반하는 VRS-RTK방법에 의해 TS의 기계점 및 후시점 좌표가 결정되었고, 후시점의 거리가 지형 여건상 100m 이내의 근거리에서 설치됨에 따라 TS에 의한 거리는 정확히 관측된 반면 방향각에 대한 오차가 비교적 크게 발생된 것이 주된 오차 원인으로 분석되었다.

그러나 본 실험은 건물 옥상에서 RTK로 관측한 4점간의 기선거리와 TS에 의한 기선거리 정확도를 상대적으로 비교 검증하는 것이 주된 목표중의 하나로서, RTK와 TS간의 건물위치의 정확도 비교는 단지 참고 사항에 불과하였으므로 이에 대한 재실험은 수행하지 않기로 하였다. 단, 향후에는 건물의 위치정확도 확보를 위하여 TS의 기계점 및 후시점 위치는 정지측량에 의하여 결정하고, 후시점의 거리는 기계점으로부터 최소 300m 이상을 이격시켜 관측해야 할 것으로 사료된다.

3.4 준스태틱 RTK에 의한 건물상층부의 동적좌표 관측

건물 상층부의 동적좌표를 관측하기 위한 실험 개요도는 그림 3과 같으며 이에 따라 그림 4 및 그림 5와 같이 4대의 RTK이동국 GPS를 헬리포트 모서리에 설치하였다. 또한 RTK관측값을 TS관측값과 비교하기 위하여 GPS수신기의 위상중심점과 프리즘 옵셋 거리가 일치하는 360° 전방향 반사경을 일체화하여 설치함으로써 어느 방향에서도 이동국 GPS의 위치에 대한 정확한 TS시준이 가능하도록 하였다.

표 3. RTK 및 TS에 의한 건물의 위치좌표 비교 (단위 : m)

구분	RTK관측값		TS관측값		차이값	
	X	Y	X	Y	X	Y
기계점 좌표값	411554.555	206616.109	411554.555	206616.109	—	—
GPS1 좌표값	411494.417	206380.541	411494.309	206380.570	0.108	0.029
GPS2 좌표값	411478.543	206380.543	411478.435	206380.583	0.108	0.040

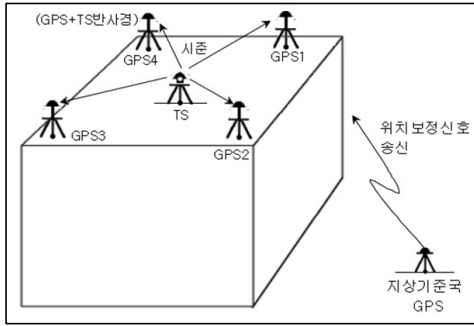


그림 3. 실험 개요도



그림 6. 4개 GPS데이터의 동시 수집을 위한 멀티포트



그림 4. 헬리포트에 설치된 이동국 GPS 및 전방향 반사경



그림 5. TS에 의한 GPS기선거리 확인측량

4대의 RTK-GPS에서는 매 1초 간격으로 1시간동안 동적좌표 관측을 실시하였으며, 각각의 데이터는 그림 6과 같이 멀티포트를 통하여 동시에 노트북PC에 저장하였다. TS에서는 GPS1 및 GPS2의 좌표를 기준으로 후방교회법에 의해 기계적 좌표를 구하고 GPS3 및 GPS4의 좌표를 관측하여 이를 RTK 관측값과 비교하였다. 1시간동안 관측한 RTK의 평균값과 어느 시점에서

표 4. RTK 평균값과 TS 관측값에 의한 기선거리 비교표 (망조정 전) (단위 : m)

기선	TS기선거리	RTK기선거리	차이	비고
GPS1~GPS2	15.874	15.8743	0.0003	0.3mm
GPS2~GPS3	14.287	14.2874	0.0006	0.6mm
GPS3~GPS4	15.845	15.8414	0.0036	3.6mm
GPS4~GPS1	14.317	14.3172	0.0002	0.2mm

관측한 TS의 관측값을 이용한 RTK와 TS간의 기선거리 비교표는 표 4와 같이 최소 0.2mm~최대 8.6mm 범위의 차이를 나타내었다. 그러나 이는 1시간 동안의 RTK 평균값을 이용한 것이므로 어느 특정 시점에서의 시공좌표에 대한 정확도로는 볼 수 없는 문제가 있다.

3.5 RTK 관측값의 망조정 계산에 의한 최확값 결정

보다 엄밀한 시공좌표를 얻기 위해서는 어느 시점에서 RTK 관측값을 사용하여야 하며, 4점의 RTK 관측값에 대한 조정을 통해 기선거리 오차를 최소화 할 필요가 있다. 그러므로 1시간 동안의 RTK 평균값을 사용하지 않고 비교 대상인 TS의 관측시점과 동일한 시점에서의 RTK 관측값을 사용하여 망조정을함으로써 특정 시점에서의 정확한 시공좌표를 결정할 수 있다. 따라서 망조정은 TS로 4점의 좌표를 관측할 당시인 오후 1시 51분40초부터 오후 1시55분30초 사이의 RTK 관측값 중, TS 관측시각과 동일한 시각의 관측값을 이용하여 실시하였다.

망조정은 단거리의 관측 성능이 더 우수하다고 판단되는 TS 관측값을 기준으로 하여 RTK 관측값을 조정하였으며, 삼변측량의 엄밀조정법을 사용하여 3점을 기지점으로 가정한 1점의 좌표정확도를 반복 조정함으로써 각 기선의 보정값이 1mm 이내가 되도록 최소제곱법에 의해 처리 하였다. 표 5는 망조정된 최종 좌표값이며, 이들 좌표값을 기선거리로 환산한 결과는 표 6과 같다.

표 5. RTK관측값의 망조정 결과 (단위 : m)

구분	RTK성과	X좌표	Y좌표	Z좌표
망조정 전	GPS 1	411494.4189	206380.5397	205.884
	GPS 2	411478.5337	206380.5518	205.938
	GPS 3	411478.5543	206366.2634	205.803
	GPS 4	411494.3969	206366.2233	205.791
망조정 후	RGPS 1	411494.4106	206380.5430	205.884
	RGPS 2	411478.5388	206380.5498	205.938
	RGPS 3	411478.5508	206366.2623	205.803
	RGPS 4	411494.3959	206366.2268	205.791

표 6. 망조정 좌표를 기선거리로 환산한 결과 (단위 : m)

구분	TS에 의한 거선거리	망조정 전의 RTK기선거리	망조정 후의 RTK기선거리
RGPS1~ RGPS2	15.874	15.8852	15.8718
RGPS2~ RGPS3	14.287	14.2884	14.2875
RGPS3~ RGPS4	15.845	15.8426	15.8451
RGPS4~ RGPS1	14.317	14.3164	14.3162

표 7. 망조정 전·후의 RTK 및 TS기선거리 비교표 (단위 : m)

구분	TS-GPS(망조정 전)	TS-GPS(망조정 후)
기선1 (GPS1~GPS2)	0.0112(11.2mm)	0.0021(2.1mm)
기선2 (GPS2~GPS3)	0.0014(11.4mm)	0.0005(0.5mm)
기선3 (GPS3~GPS4)	0.0023(2.3mm)	0.0001(0.1mm)
기선4 (GPS4~GPS1)	0.0005(0.5mm)	0.0007(0.7mm)

망조정 결과, 표 7에서 나타내었듯이 TS관측시점과 동일한 망조정전의 RTK 기선거리의 TS 기선거리와 비교하여 0.5~11.2mm 범위의 오차를 보였으나, 망조정후의 RTK기선거리는 TS기선거리와 비교하여 0.1~2.1mm범위의 양호한 결과를 얻을 수 있었으므로 망조정된 RTK좌표는 최종 시공좌표로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

또한 건물 옥상에 GPS장비를 설치하고 관측, 계산, 조정 등의 전과정을 수행하기까지는 총 3시간이 소요되었으므로, 향후 이들 과정을 시스템화 한다면 보다 짧은 시간내에 초고층 건물이나 고가구조물에 대한 정위치 측설이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

3.6 준스택 RTK를 이용한 고가 구조물의 실시간 시공측량 시스템 개발

본 연구 과정에서는 고가 구조물의 정위치 측설을 위하여 설계좌표 입력, RTK관측, TS기선비교, 실시간 시

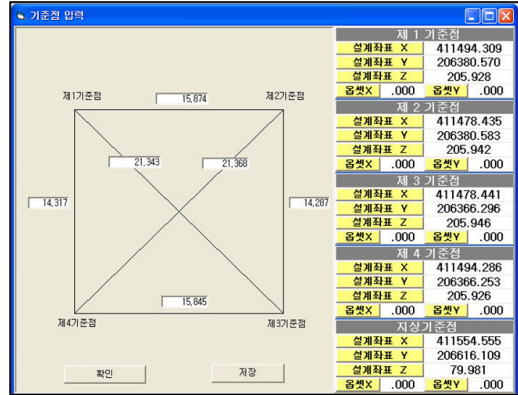


그림 7. 고가구조물의 설계좌표 입력 화면

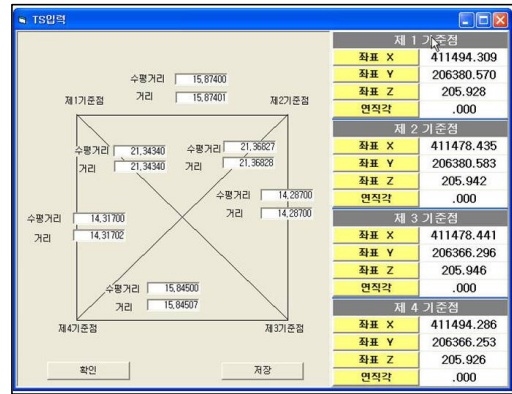


그림 8. TS기선 비교 화면

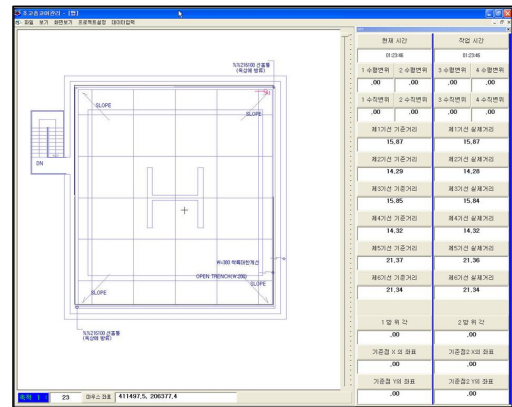


그림 9. 실시간 시공현황 모니터링 화면

제 1 기준점		제 2 기준점		제 3 기준점		제 4 기준점	
설계수평	243.122	설계수평	247.521	설계수평	261.151	설계수평	257.022
설계경사	273.808	설계경사	277.728	설계경사	289.943	설계경사	286.221
설계연직각	27.386	설계연직각	26.971	설계연직각	25.750	설계연직각	26.106
GPS수평	243.124	GPS수평	247.520	GPS수평	261.149	GPS수평	257.026
GPS경사	273.790	GPS경사	277.712	GPS경사	289.879	GPS경사	286.164
GPS연직각	27.378	GPS연직각	26.965	GPS연직각	25.725	GPS연직각	26.080
X축 변위 표준편차	.000	X축 변위 표준편차	.000	X축 변위 표준편차	.000	X축 변위 표준편차	.000
Y축 변위 표준편차	.000	Y축 변위 표준편차	.000	Y축 변위 표준편차	.000	Y축 변위 표준편차	.000
X,Y축 표준편차	.000	X,Y축 표준편차	.000	X,Y축 표준편차	.000	X,Y축 표준편차	.000

그림 10. 기선 결과 보기 화면

제 1 기준점		제 2 기준점		제 3 기준점		제 4 기준점	
설계좌표 X	411494.309	설계좌표 X	411478.435	설계좌표 X	411478.441	설계좌표 X	411494.286
설계좌표 Y	206380.570	설계좌표 Y	206380.583	설계좌표 Y	206366.296	설계좌표 Y	206366.253
설계좌표 Z	205.928	설계좌표 Z	205.942	설계좌표 Z	205.946	설계좌표 Z	205.926
GPS X	411494.413	GPS X	411478.549	GPS X	411478.551	GPS X	411494.391
GPS Y	206380.541	GPS Y	206380.547	GPS Y	206366.265	GPS Y	206366.223
GPS Z	205.886	GPS Z	205.909	GPS Z	205.803	GPS Z	205.787
시공좌표 X	.000	시공좌표 X	.000	시공좌표 X	.000	시공좌표 X	.000
시공좌표 Y	.000	시공좌표 Y	.000	시공좌표 Y	.000	시공좌표 Y	.000
시공좌표 Z	.000	시공좌표 Z	.000	시공좌표 Z	.000	시공좌표 Z	.000

그림 11. GPS결과 보기 화면

공현황 모니터링 및 시공좌표의 결정 등에 관한 프로그램을 개발하여 별도의 내입 없이 현장에서 바로 시공좌표를 결정함으로써, 측량을 위해 공사가 중단되는 시간을 최소화 할 수 있는 방안을 마련할 수 있었다. 개발된 프로그램의 각 모듈별 결과는 그림 7~그림 11까지 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 초고층건물이나 교량주탑 등 고가 구조물의 정위치 측설을 위한 시공측량에 RTK측량 기술을 적용하기 위해, 수mm 정확도의 정밀측량이 가능한 준스타틱 RTK수신기를 이용하여 건물 상층부의 4점에 대한 좌표를 관측하고 이를 망조정하여 높은 정확도의 시공좌표를 산출할 수 있는 방안을 마련하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고가 구조물 상단에서 사변형을 이루는 4점의 관측점에 대하여 준스타틱 RTK수신기를 이용하여 좌표를 관측하고, 단거리에서의 거리관측 성능이 우수한 TS를 병행 사용하여 비교 측정한 기선거리를 기준으로 엄밀조정법에 의한 사변형의 삼각망을 조정하면 최대 2.1mm의 오차범위에서 RTK기선거리의 정확도를 향상할 수 있음을 알 수 있었다.
2. 높이가 130m 내외인 40층 정도 규모의 건물 등에서는 준스타틱 RTK기법을 적용할 경우 단시간 내에 수mm 이내의 높은 정확도로 상층부의 정위치 시공측량이 가능함을 알 수 있었다.
3. 연구진행 과정에서 실측부터 최종 좌표 결정에 이르는 전 과정을 프로그램화 함으로써, 향후 이를 상용화 할 수 있는 기반을 마련할 수 있었다.
4. 향후 본 논문에서 적용된 측량기법은 보다 규모가 큰 고가구조물에서의 현장 실험을 통하여 준스타틱 RTK시스템의 적용한계 및 그의 보완을 위한 계측시스템 연동 등에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년 가천대학교 교내 연구비를 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박필호, 박종욱, 조정호, 전경수, 조성호, 1999, "GPS의 변위 검출 능력에 대한 실험", 한국측지학회지, 제18권, 제2호, pp.161-166.
2. 박효선, 손홍규, 김일수, 박재환, 2005, "GPS를 이용한 초고층건물의 수평변위 모니터링 시스템", 대한건축학회 논문집 구조계, 제21권, 제5호, pp.11-18.
3. 이창경, 김창우, 2000, "GPS측량에 의한 해안구조물의 정적변위측정에 관한 연구", 한국측량학회지, 제18권, 제4호, pp.369-378.
4. 장상규, 김진수, 신상철, 박운용, 2001, "GPS에 의한 댐 변형 모니터링의 변위 분석", 한국측량학회지, 제19권, 제3호, pp.237-244.
5. 최병길, 김영근, 정진우, 2000, "GPS의 OTF측위기법에 의한 교량의 거동 측정에 관한 연구", 한국측량학회지, 제18권, 제3호, pp.271-278.
6. 최병길, 손덕재, 나영우, 2010, "GPS를 이용한 장대교량 실시간 거동 모니터링에 관한 연구", 한국측량학회지, 제28권, 제3호, pp.377-383.
7. DG14 Receiver Reference Manual, 2010, Ashtech

- S.A.S.
8. Brownjohn, J, Rizos, C, Tan, G and Pan, T, 2004, "Real-time long-term monitoring of static and dynamic displacement of an office tower, combining RTK-GPS and accelerometer data", 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction works and Structural Engineering, Nottingham, United Kingdom, Session 1 Paper Ts1.9 Surveying in Construction.
 9. Tamura, Y., Matsui, M., Pagnini, L., C., Ishibashi, R., & Yoshida, A., 2002, "Measurement of wind-induced response of buildings using RTK-GPS", J. Wind Eng. and Industrial Aerodynamics, 90, pp.1783-1973.