

GPS를 이용한 초고층 시공 측량 기술

A case study of the technology of measurement system using Global Positioning System(GPS) for high-rise buildings

강 선 종*

강 경 태**

Kang, Seon-chong Kang, Kyoung-tae

요 약

최근의 과학기술의 발전과 더불어 인공위성을 이용한 GPS 측량시스템의 실용화가 토목을 중심으로 한 건설현장에서 두드러지고 있다. 특히 측량기준점을 확인하기 어려운 토목현장의 경우에는 GPS 측량의 유용성이 적극적으로 도입되어 실용화 단계에 이르렀다. 그러나 mm단위의 정밀성이 요구되는 건축현장의 경우에는 GPS가 가지는 오차의 크기로 인하여 적용되어 오지 못하다가 최근에 정밀도를 향상시킨 새로운 측량 기술이 개발되어 초고층 건물을 중심으로 적용되고 있다. 본 논문에서는 정확성과 편리성을 획기적으로 개선한 GPS 측량시스템을 세계초고층 건물인 버즈 두바이 현장에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

키워드: GPS, 측량 시스템, 초고층

1. 서론

1.1 연구의 배경

Global Positioning System(GPS) 기술의 발달과 더불어 우리는 지구 어디에서나 현재 위치를 정확하게 파악할 수 있게 되었다. GPS 수신기를 내장한 핸드폰이나 네비게이션 등으로 쉽게 길을 찾거나 상대방의 위치를 파악하는 것이 우리 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 예일 것이다.

이러한 GPS의 장점을 이용하여 건설현장에서도 별도의 먹메김이나 기준좌표의 설정 없이 쉽고 정확하게 위치를 파악할 수 있는 측량 시스템이 개발되어 공사의 정확도를 높이고 공기단축에 기여하고 있다.

GPS 측량은 지적 측량이나 토목 현장에서 이미 광범위하게 사용되고 있으며 정확도의 향상과 더불어 건축분야에서도 적용되고 있다. 특히 초고층 프로젝트의 경우 건물의 높이가 높아질수록 기준점의 확인 작업이 어려워지고 시간이 많이 소요되어 공기지연의 한 요인으로 작용하기도 한다.

따라서 초고층 건설 현장에 있어서 이러한 GPS 측량 방법의 도입은 필수적인 요소로 향후 국내외의 초고층 건물의 품질 및 공기관리를 위해서 적극적인 도입과 지속적인 기술개발이 필요하다고 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 목적

본 논문은 세계 초고층 건물인 버즈 두바이 현장에 적용한 GPS측량 시스템에 대하여 알아보고 그 성과 및 향후 GPS 측량 방법의 적용 확대 방향에 대하여 살펴보기로 한다.

2. GPS 측정의 기본 원리

2.1 GPS의 역사

GPS는 1970년대 초, 미 국방성(U.S. Department of Defence)에 의해 개발되기 시작하여 1990년대 중반부터 본격적인 가동이 시작되었다. GPS는 지구 주변을 돌고 있는 24개의 인공위성을 이용하여 위치를 확인하기 때문에 시간, 기상 상태에 관계없이 지구 전역에서 사용 가능한 가장 이상적인 항법 시스템으로서 처음에는 군사적인 용도를 위해 개발되었지만 경제성 및 유용성으로 인해 급속도로 민간용으로 확장되어 현재에 이르러 가장 일반적인 항법 시스템으로 자리 잡고 있다.

특히 2000년 5월 1일 당시 미국 대통령이었던 빌 클린턴 대통령의 발표와 더불어 미 국방성의 고의적인 오차 요인이었던 고의 잠음(SA, Selective Availability)이 사라짐으로서 민간용 항법 시스템의 성능이 비약적으로 향상되어 앞으로의 활용 가능성이 더욱 높아지게 되었다.

* 정회원, 삼성물산 건설부문 상무

** 정회원, 삼성물산 건설부문 과장

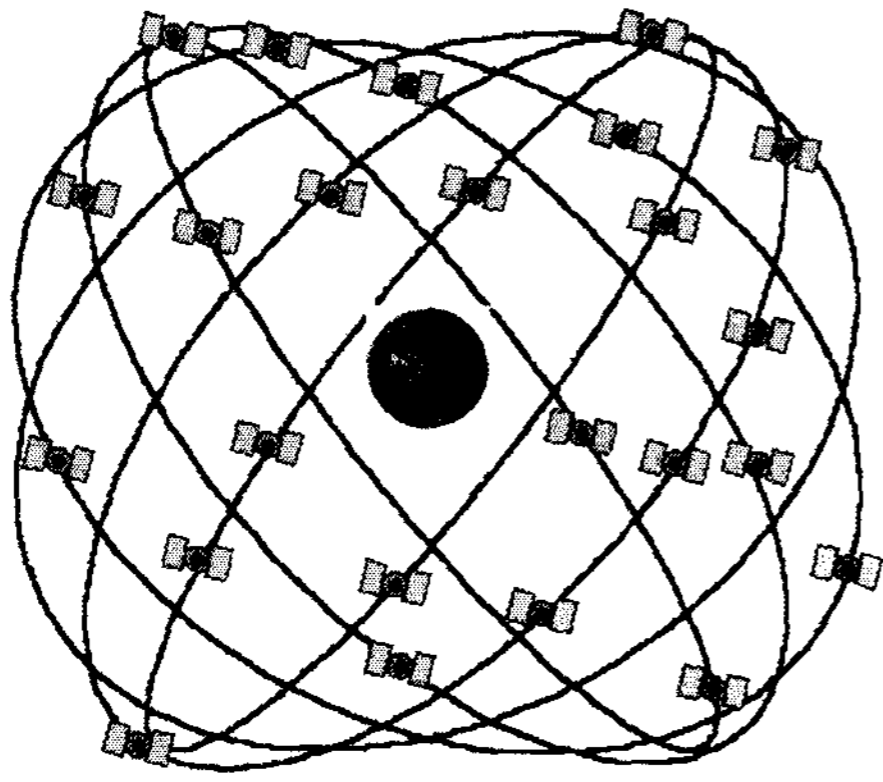


그림1. GPS 인공위성 개념도

2.2 GPS 측정시스템의 원리

Global Positioning System(GPS)는 미 국방성의 위성(24개)으로부터 발사되는 신호를 받아 자신의 위치를 계산해 낸다. 즉 지구상에 돌고 있는 24개의 위성으로부터 일정주기의 신호를 받아 전파가 도달하는 시간차를 계산하여 자신의 위치를 환산해 낸다.

위치의 측정방법은 삼각측량의 원리와 동일하며 3개의 위성으로부터 수신기와의 거리를 계산하여 위치를 측정하게 된다. 이때 일반적으로 여러 가지 요인으로 인한 오차범위는 대략 m단위로 된다.

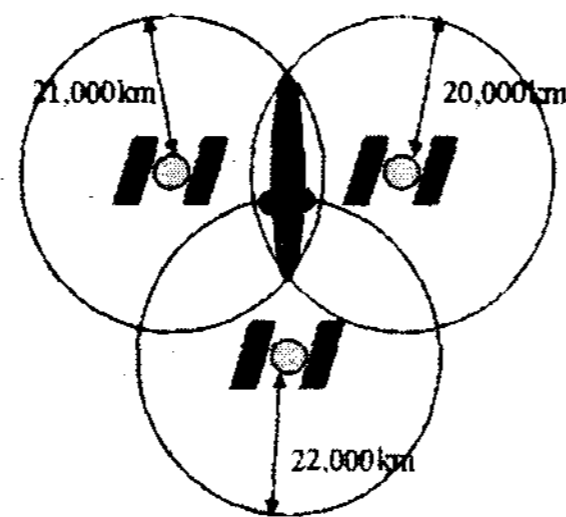
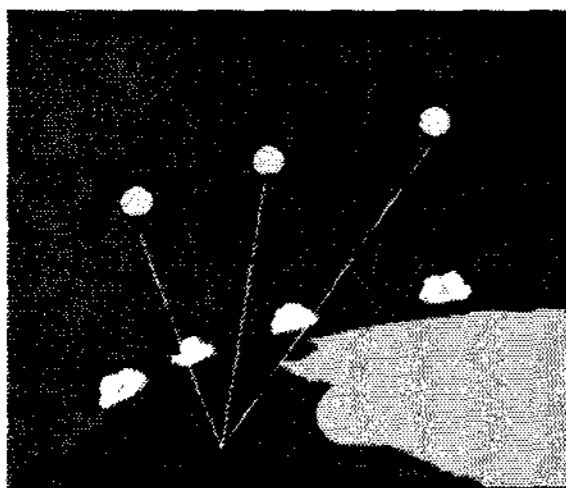


그림2. 인공위성을 이용한 삼각측량 방법

2.3 GPS의 오차

GPS 정밀도는 여러 오차 근원의 합에 의해 결정된다. 각 오차의 원인들을 크게 구분하면 대기조건과 장비의 운용 상태에 따라 가장 큰 변화가 있게 된다.

또한 미 국방성이 안보 차원에서 위성의 궤도정보와 원자시계를 조작하여 민간용도로 사용하는 SPS(standard positioning service)에는 영향을 주고 군용으로 사용하는 PPS(precise positioning service)에는 영향을 주지 않도록 인위적인 오차를 삽입한

"SA(selective availability)"라는 오차가 GPS 정밀도에 상당한 영향을 준다. 그러나 2000년 5월 1일부터 SA 신호를 제거하여 운영되고 있으며, 이용자가 느낄 수 있는 GPS오차는 m단위이다.

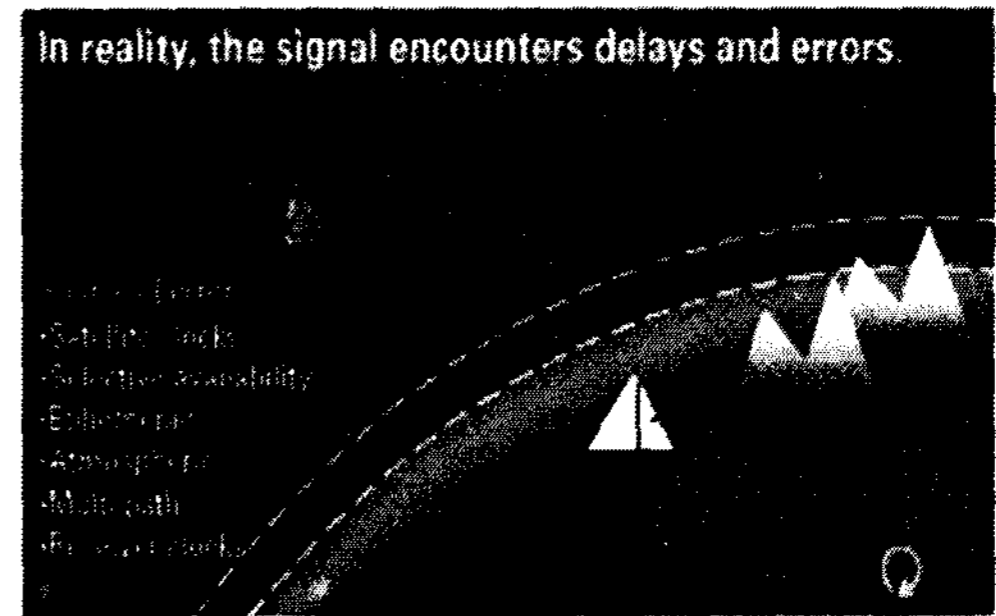


그림3. GPS의 오차 요인

2.4 DGPS(Differential Global Positioning System)

앞에서 언급한 GPS의 오차를 극복하기 위하여서는 이러한 오차요인들을 미리 제거해야 할 필요가 있다. Differential GPS는 미리 정확하게 측정된 고정된 기준국에서 계산한 공통오차[정확하게 표현하면 오차보정(error correction)이다]정보를 전송하고 기준국 주변에 있는 수신기 사용자들은 이들 공통오차를 수신하여 기준국과 수신기 사이의 공통오차를 제거하고 사용자의 위치를 정확하게 계산하는 방법이 Differential GPS의 기본원리이다.

GPS 수신기는 위치를 결정하기 위해 최소한 3기의 위성으로부터의 timing 신호를 사용한다. 만약 지상에 있는 2개의 수신기가 수백 km 이내로 근접해 있다면 수신기로 도달되는 신호들은 사실상 같은 대기(atmosphere)권을 통과하므로 사실상 동일한 오차로 취급한다.

Differential GPS는 GPS timing 신호의 오차를 측정하고 기준국 주위에 있는 수신기 사용자들에게 공통오차 정보를 전송한다. 공통오차를 수신한 기준국 주위에 있는 수신기 사용자들은 자신의 위성으로부터 직접 수신한 GPS 신호에서 기준국과 수신기 사이의 공통오차를 제거하는 방법으로 모든 오차를 제거할 수 있게 된다. 현장에 적용되는 GPS 측정 시스템은 이러한 원리로 이루어진 것이다.

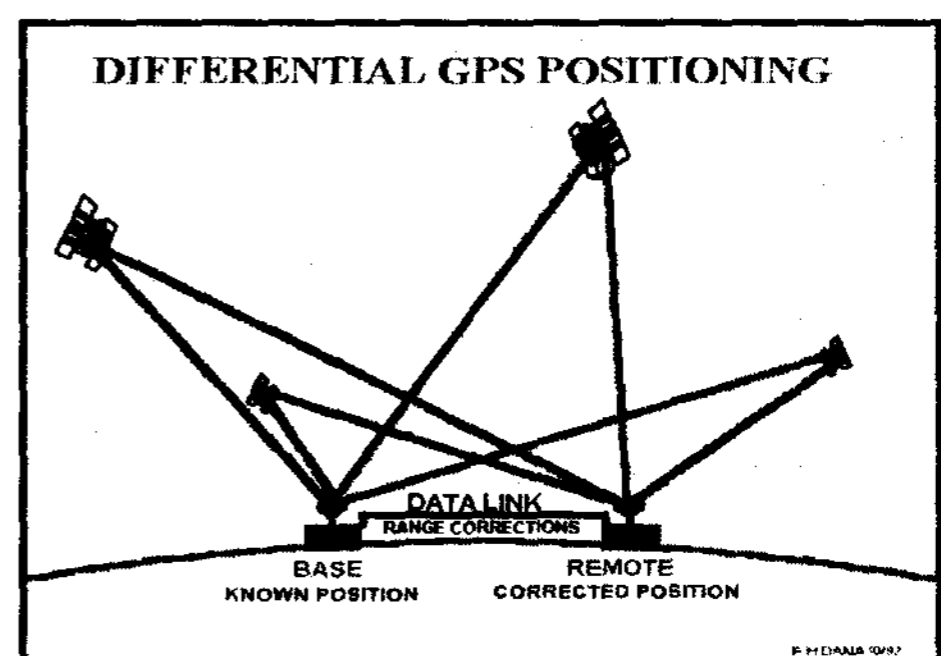


그림4. DGPS 개념도

3. 적용사례

3.1 버즈 두바이(Burj Dubai) 현장 개요

- 위치 : Dubai, UAE
- 공사명 : Burj Dubai Main Contract
- 발주처 : Emaar Properties
- 공사기간 : 47개월(2005. 2~2008. 12)
- 공사금액 : 876백만 달러(美貨)
- 건물규모 : 160층 이상 (높이: 700m이상)
- 연면적 : 145,000 평
- 건물용도 : 호텔/ 주거 및 오피스빌딩

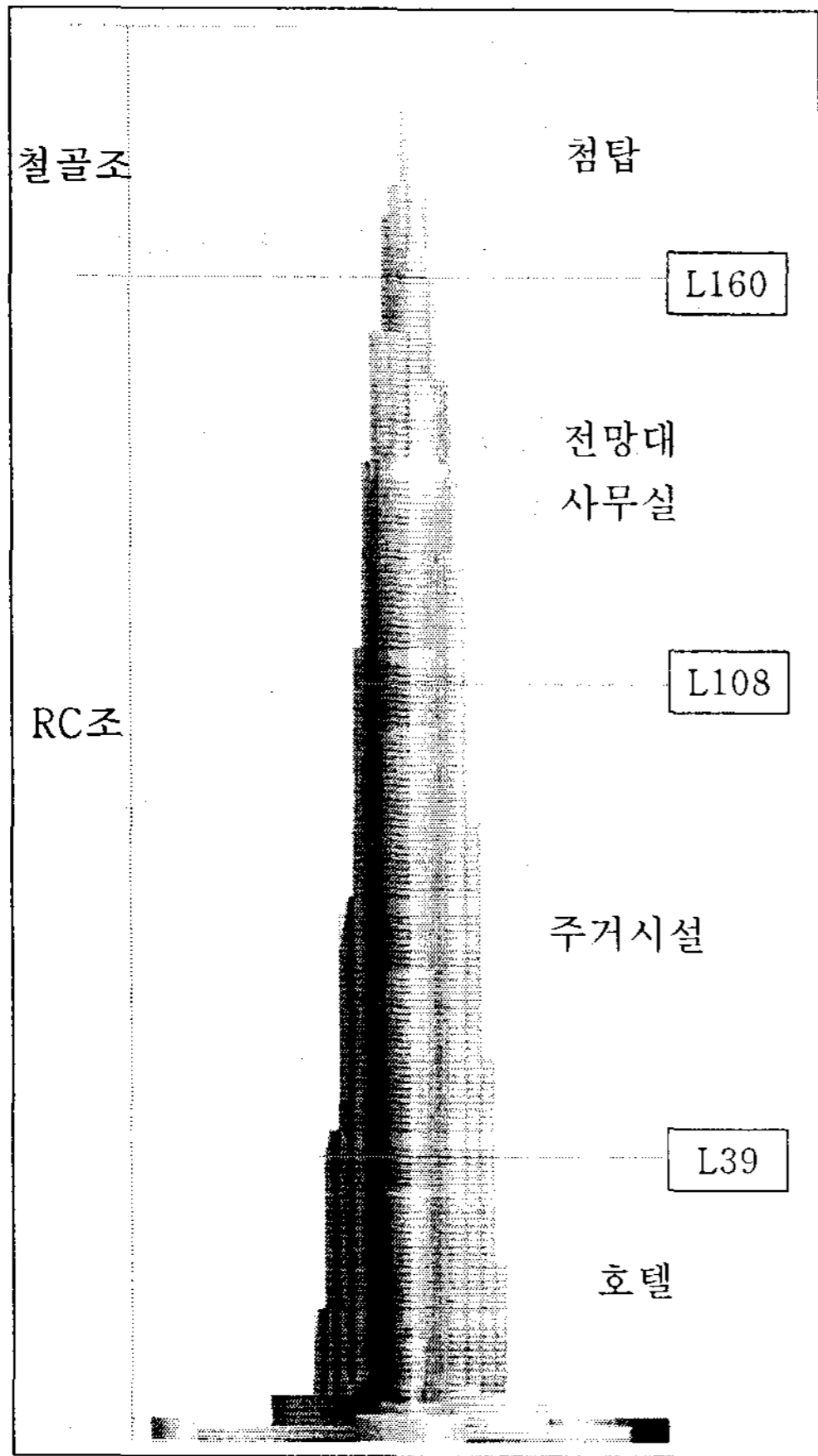


그림6. 버즈 두바이 입면 투시도

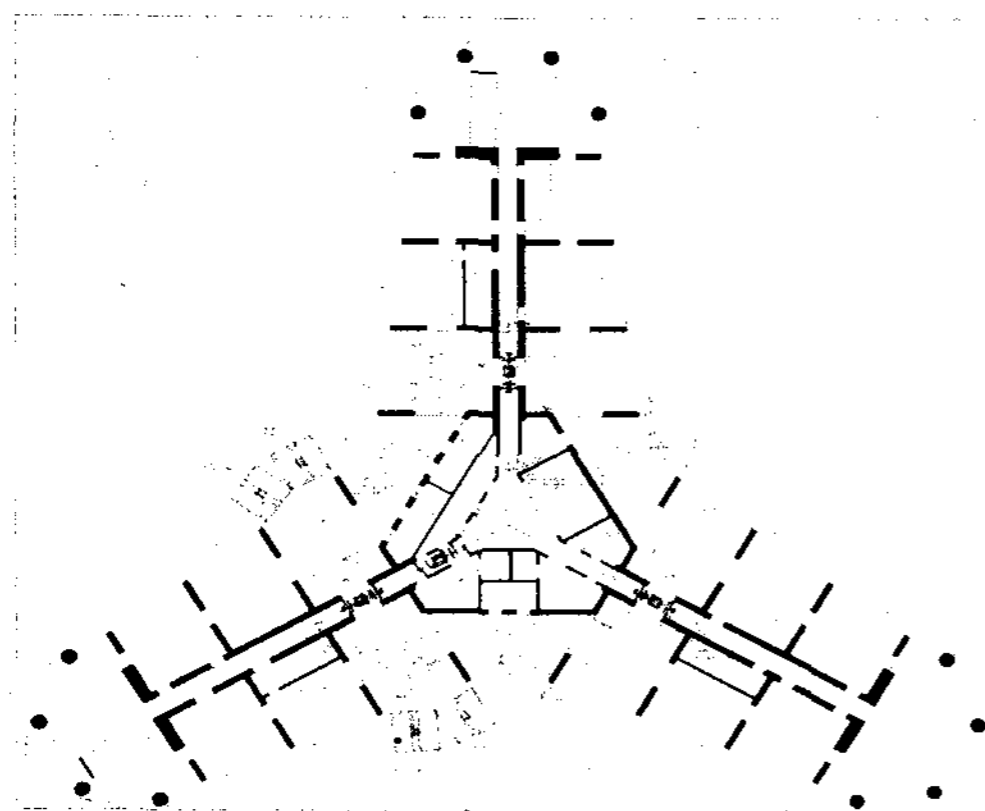


그림7. 기준층 평면도

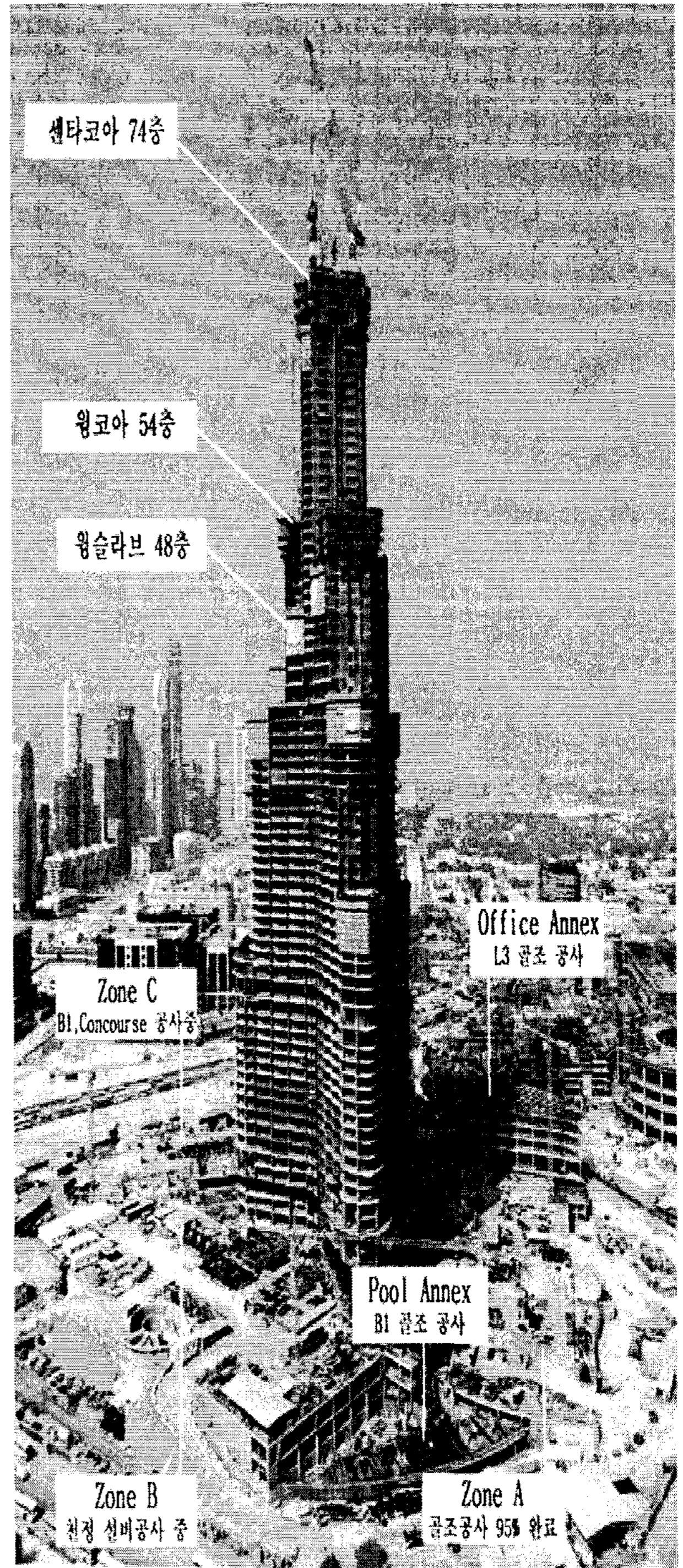


그림 8. 공사진행 현황(2006년9월)

3.2 현장 적용사례

3.2.1 측량 기준점 설정

지상에 이미 위치정보(좌표값)을 알고 있는 기준점에 GPS 안테나를 고정 설치하여 두며, 공사를 수행하는 중에 각 구역별로 3개의 GPS 안테나를 설치하여 각 안테나의 위치정보를 인공위성으로부터 수신한다. 수신된 위치정보는 성층권, 대기권의 전파장애요소로 인해 일반적

으로 1m 이상의 오차한계를 가지게 된다.

지상 기준점의 안테나가 동시간대에 인공위성으로부터 수신한 좌표값과 이미 알고 있는 좌표값을 비교하여 그 차이를 공사 수행 층에 설치한 GPS 안테나가 수신한 좌표값에 보정하는 절차를 거쳐 최종 좌표값을 정한다.

보정 시에는 Leica社(Swiss)의 'GEO OFFICE'라는 측량 전문 소프트웨어를 사용하며, 보정을 거친 좌표값은 5mm 이내의 오차 한계를 가진다.

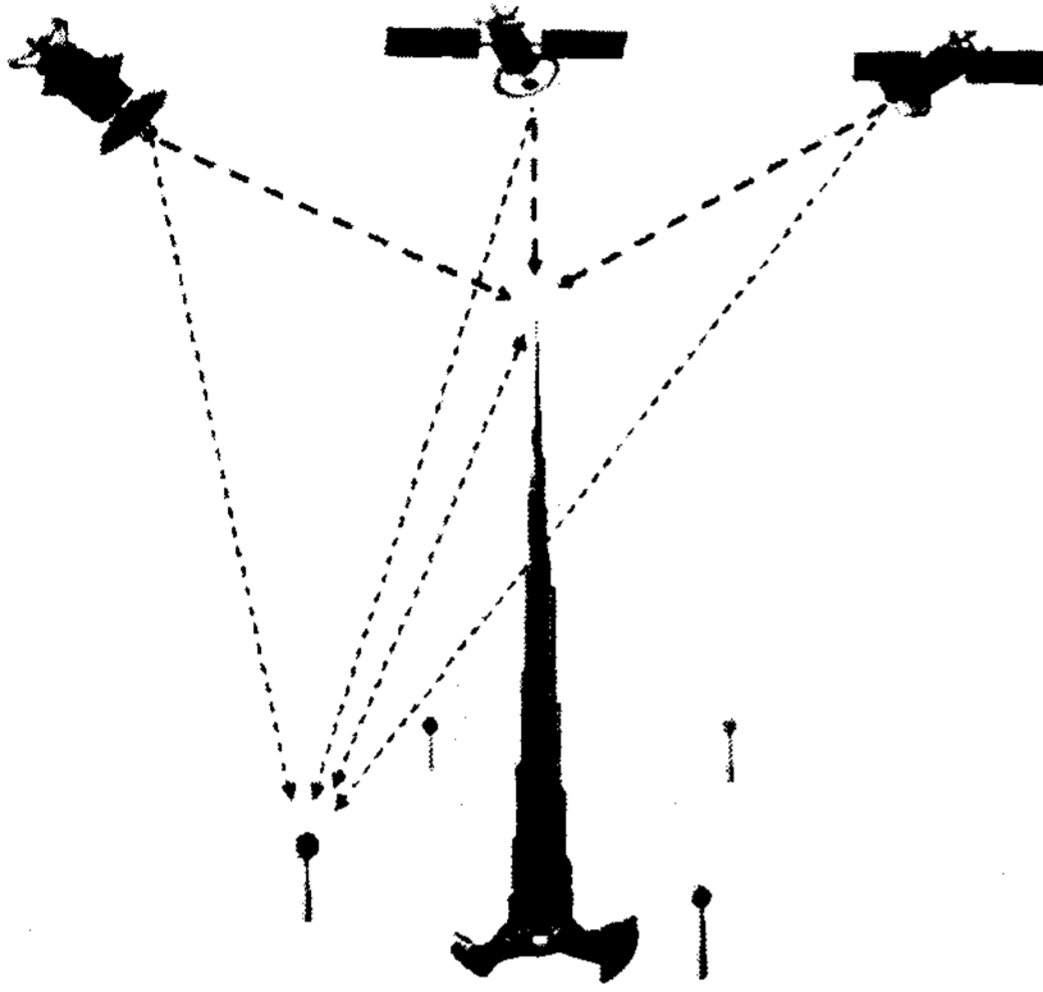


그림9. GPS 측량 시스템 구성도

3.2.3 측량 보조기준점 설정

최종 확인된 3개의 GPS 안테나의 좌표값을 이용하여 공사 수행 층에 설치된 Total Station(광파기)의 좌표값을 산정하며, 이로부터 공사에 필요한 보조기준점들에 대한 좌표를 부여한다.

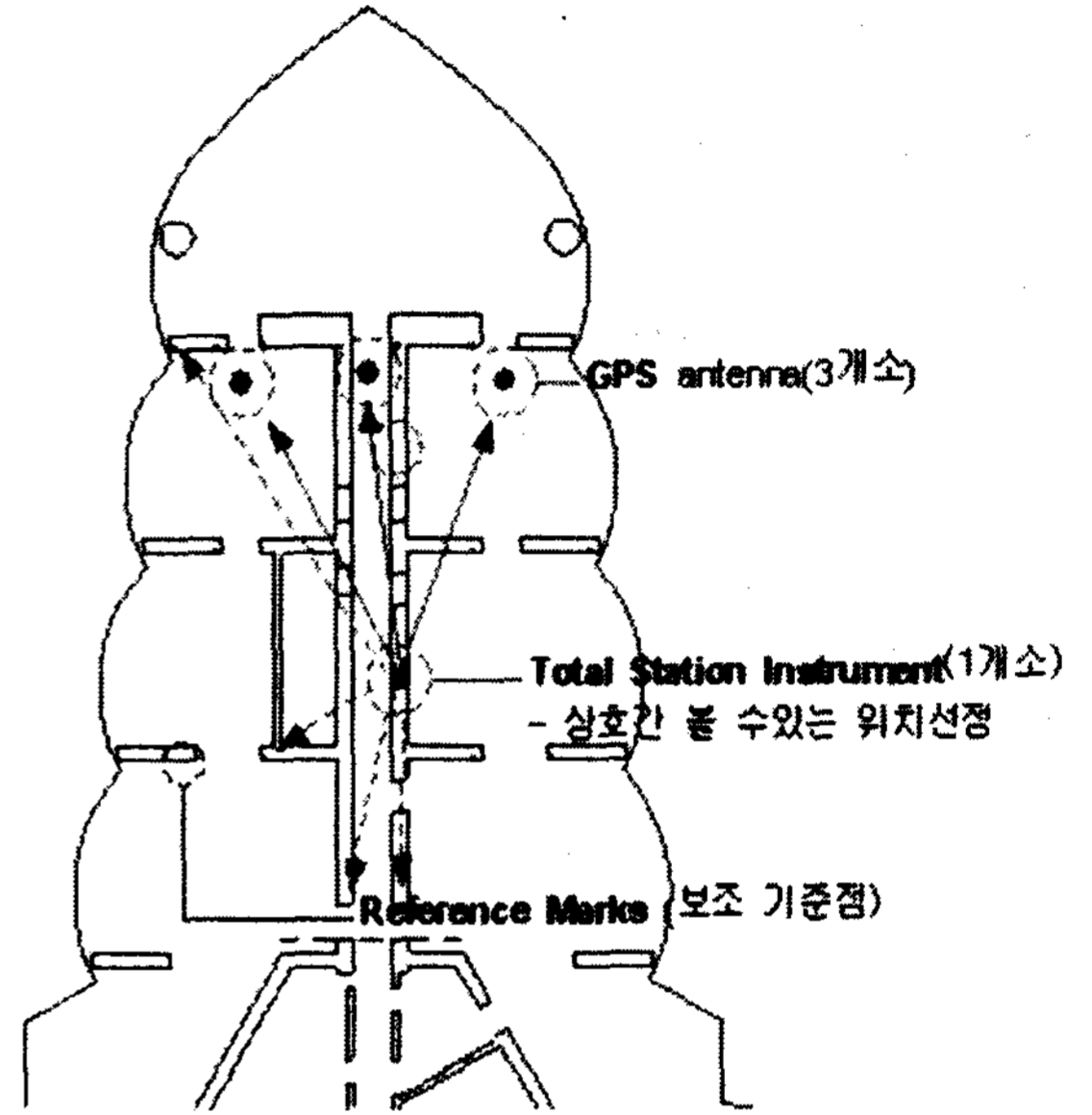


그림12. 측량좌표 평면도

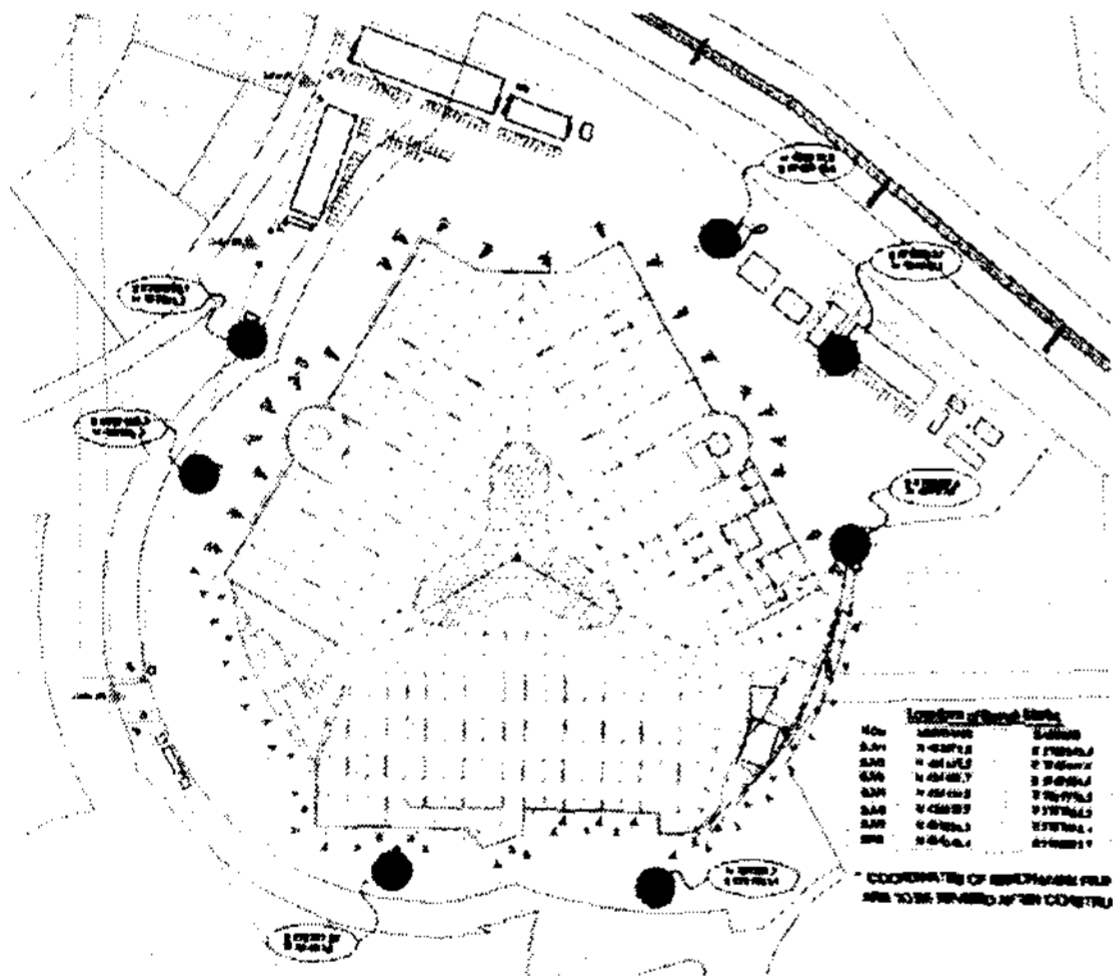


그림10. GPS 측량 시스템 위치도

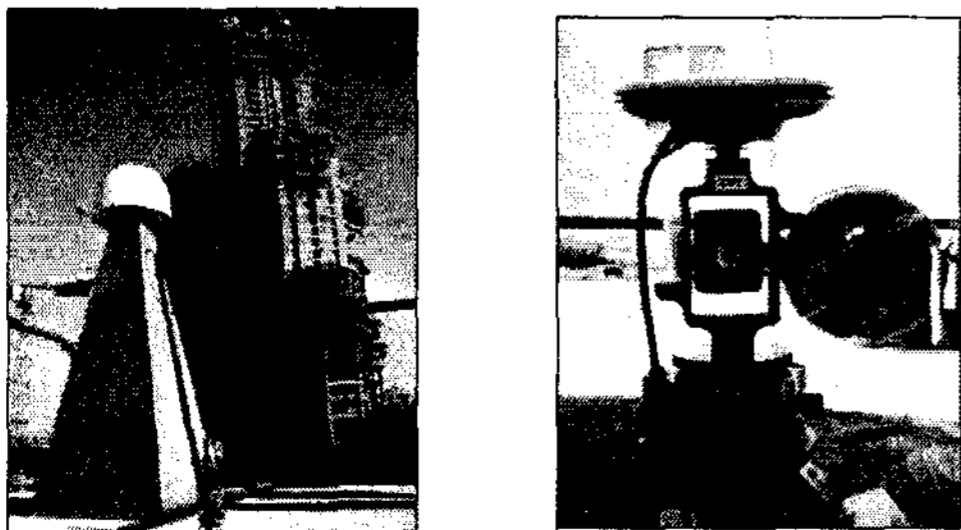


그림11. 고정형 GPS 및 GPS 안테나

보조기준점은 새로 타설된 콘크리트 상부에 못으로 표시하며 층당 약 220개의 포인트를 설정한다.

(Center Core 100개, Wing Core 120개)

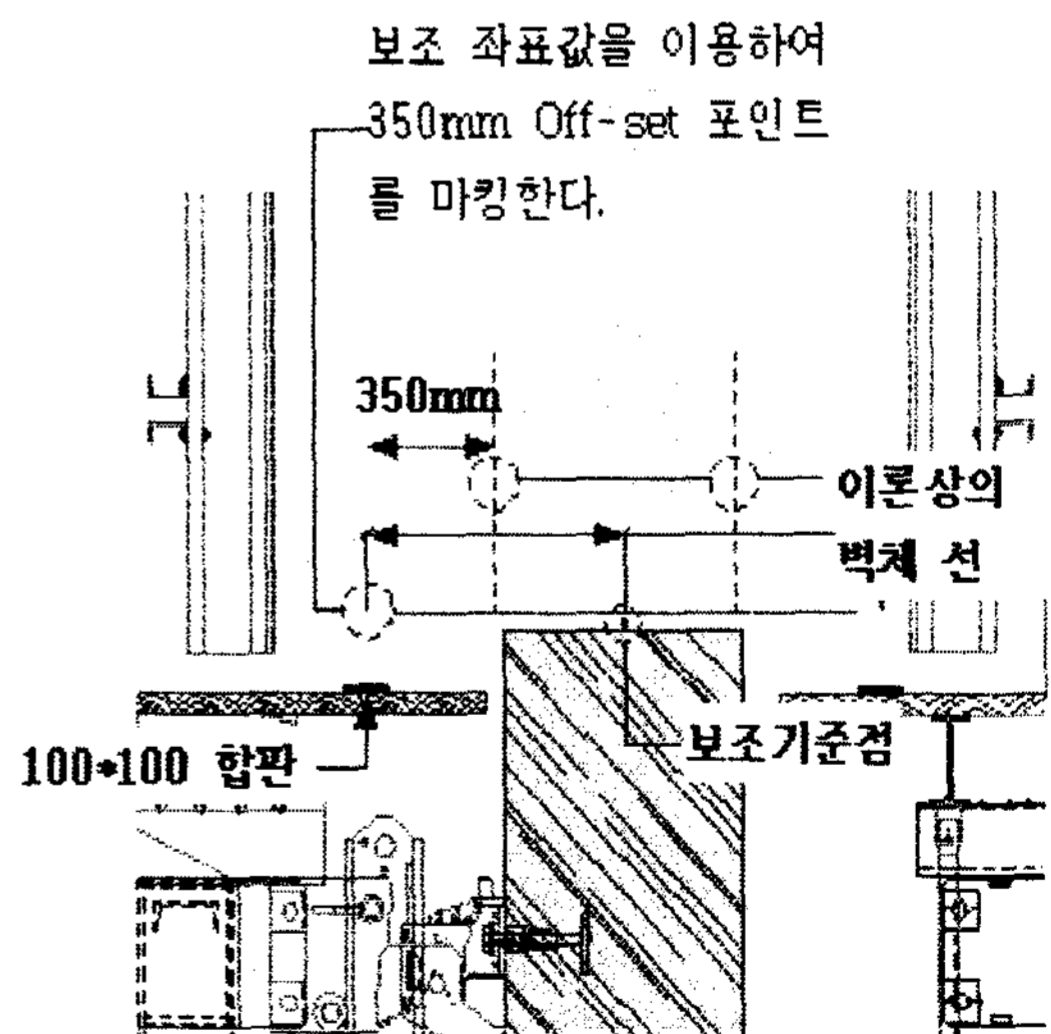


그림13. 보조기준점 설치

보조기준점으로부터 콘크리트 표면까지 거리를 측정하여 타설한 콘크리트의 오차를 산정하며, 다음 층 형틀작업을 위한 Off-set(350mm) 포인트를 설정한다. (100x100mm 합판 이용, 층당 약 280개 설정)

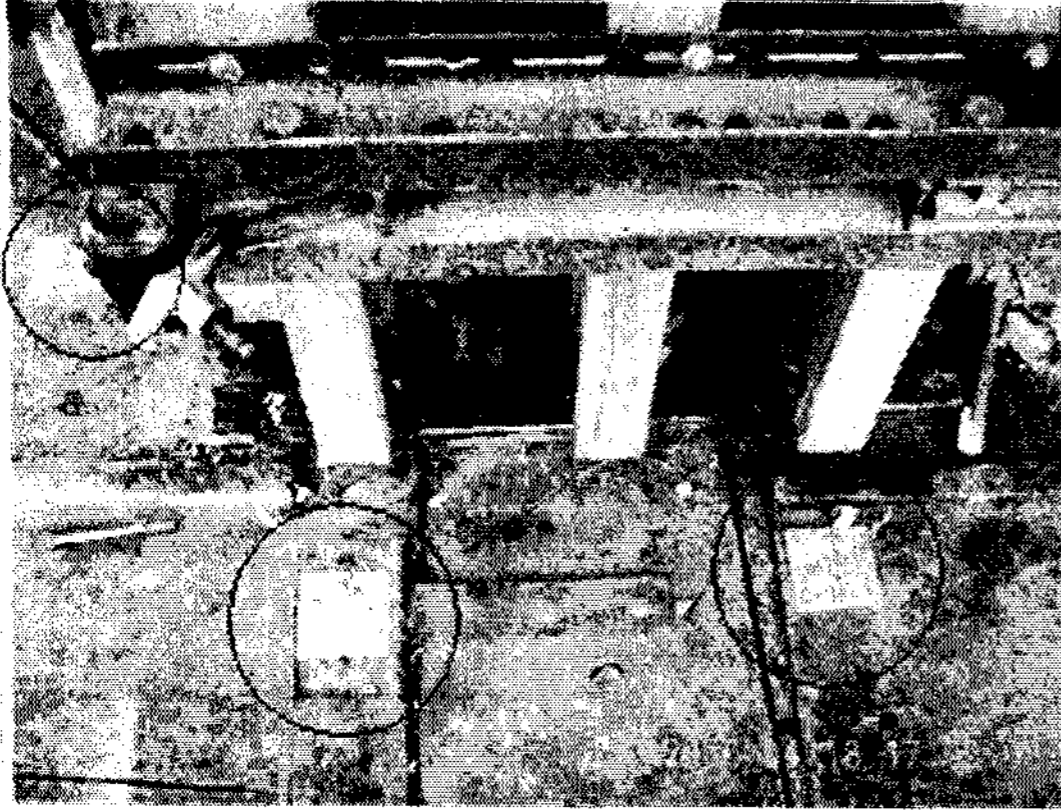


그림 14. 350mm Off-set 포인트 설정

3.2.4 형틀작업 수직도 점검 절차

형틀의 상승 직후 Shutter가 열린 상태에서 Shutter 하부에 있는 발판 (제로 발판)에 Off-set 포인트를 고정시킨다. 철근/Conduit/Sleeve/Embed 설치 및 검사 완료 후 Off-set 포인트를 기준으로 Shutter를 닫고 상부를 고정한다. 측량사가 Shutter의 상부위치를 확인하여 오차를 기록한다. (오차가 허용치 이상이면 수정작업을 실시)

측량점검이 완료되면 측량사가 점검표에 서명하고, 서명된 점검표를 첨부하여 콘크리타설 검사의뢰서를 발주처에 제출한다. 발주자 측 측량사가 재점검하여 승인이 완료되면, 검사원의 콘크리트 타설 준비상태 최종 확인 후 콘크리트를 타설한다.

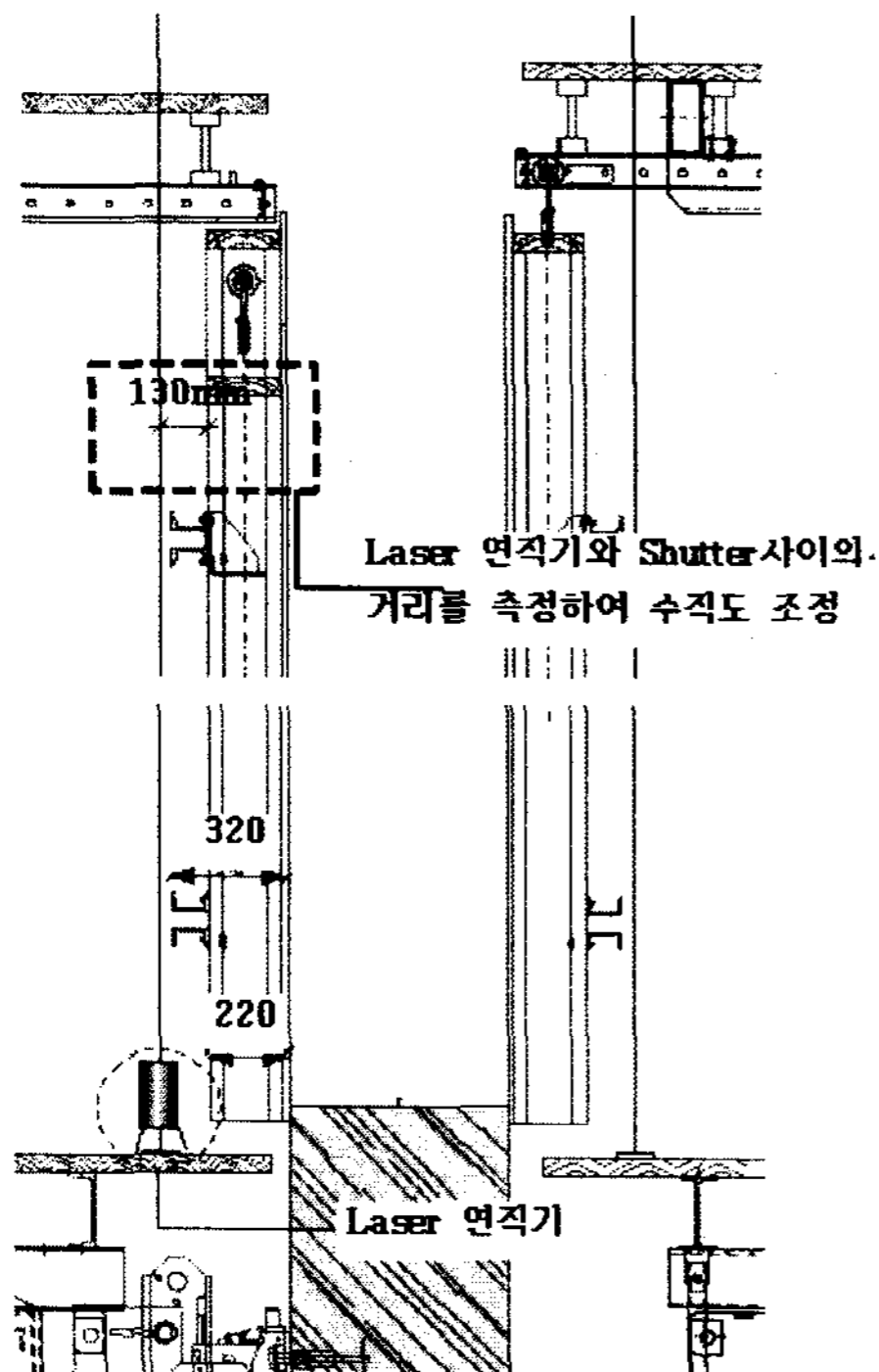


그림 15. Shutter 고정 및 수직도 조정

3.2.5 레벨 측량 방법

(1)레벨기준점 설정(Column Shortening 보정)

Center Core C1에 Column Shortening 보정치를 고려한 기준 레벨을 설정하며, 본 기준 레벨이 여타 구역으로 시공 시에도 기준 레벨이 된다.

(2) 형틀 설치용 레벨 설정

새로 타설된 콘크리트의 상부 높이 (-)50mm 콘크리트 표면에 측량사가 기준점을 표시하여 주변 형틀 하부를 표시된 선에 맞추어 고정한다.

(3) 철근 작업용 레벨 설정 - 정밀도 요구됨

수직철근 설치가 완료되면 측량사가 수직철근에 콘크리트 타설 레벨 (+)500mm 지점에 표시하여 준다. (Panel 당 2~3개) 본 표시 레벨을 기준으로 슬라브 연결용 철근, Sleeve, Embed 등을 설치하며 콘크리트 타설 높이를 산정한다.

(4) 슬라브 작업용 레벨 설정

벽체 콘크리트 표면에 슬라브 콘크리트 타설 레벨 (+)1,000mm 지점에 기준점을 표시한다. 본 기준점을 이용하여 형틀작업이 완료되면 측량사가 재점검하여 조정 작업을 실시한다. 이 때 발주자 측 측량사도 참여하여 레벨 검사를 실시한다.

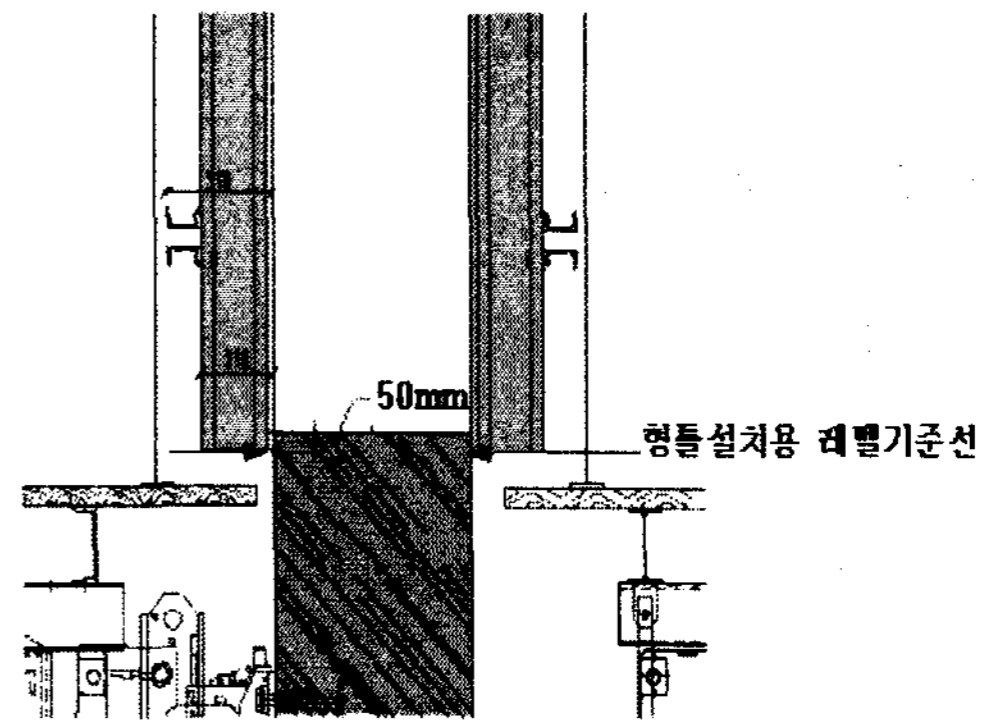


그림 16. 기준선 설치 단면

3.2.6 건물 거동 모니터링

공사의 진행 상태에 따라 건물의 전체적인 움직임을 파악하고 관리하기 위하여 건물 단위의 측량을 실시하며 관리 대상은 건물의 수직도, 건물의 높이, 기초의 침하 여부 등이다.

(1) 건물 수직도 모니터링

건물의 전체적인 수직도에 대한 모니터링은 목표층마다 설치한 4개의 컨트롤 포인트가 수평으로 또는 회전방향으로 움직였는지를 확인하며 모니터링 목표층은 B2, L3, L7등 총 27개 층에서 시행한다.

측정은 정밀측량기기인 Leica ZL Optical Plummet을 사용하여 매월 1회 실시 후 데이터를 관리한다.

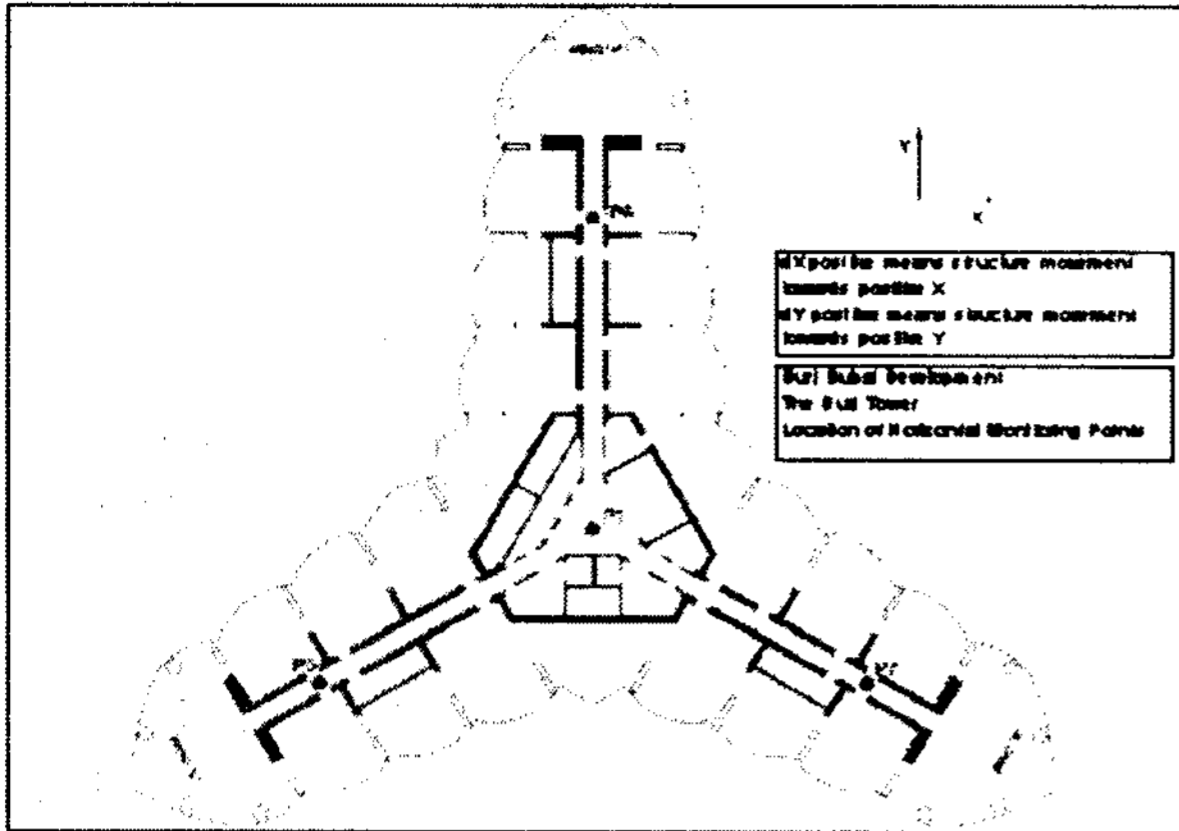


그림 17. 컨트롤 포인트 위치도

(2) 건물 높이 모니터링 (Column Shortening)

B2에 설치하여 둔 총 54개의 포인트와 매층 같은 위치에 설치한 포인트 간의 거리를 측정하여 건물의 높이의 변화를 측정하고 측정치에 온도의 변화에 의한 신축량을 보정하여 보고서를 작성한다.(매월 1회)

(3) 기초 침하 모니터링

기초의 침하 유무를 확인하기 위하여 디지털 레벨기를 사용 기초 위에 설치한 15개의 포인트의 레벨을 측정한다.(매월 1회 실시)

4. 측량 데이터 관리

4.1 데이터 계산 및 관리

앞에서 설명한대로 Leica社.(Swiss)의 'GEO OFFICE' 프로그램을 이용하여 GPS 안테나 3곳의 위치를 계산한다.(그림 19)

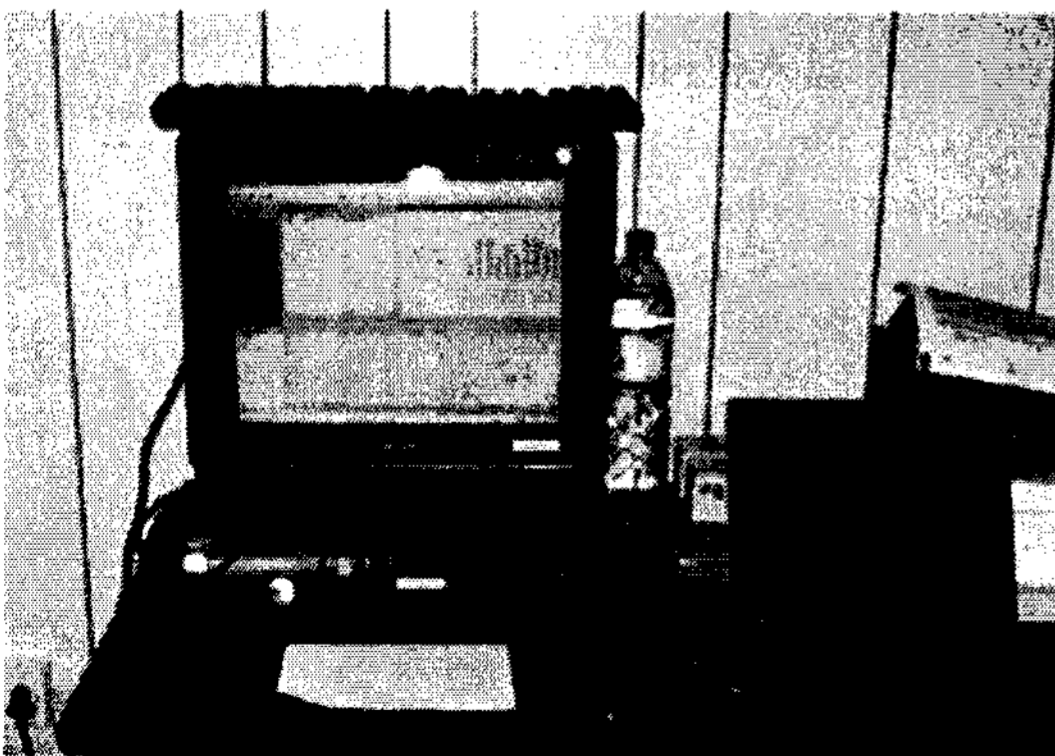


그림 18. 데이터 처리 화면

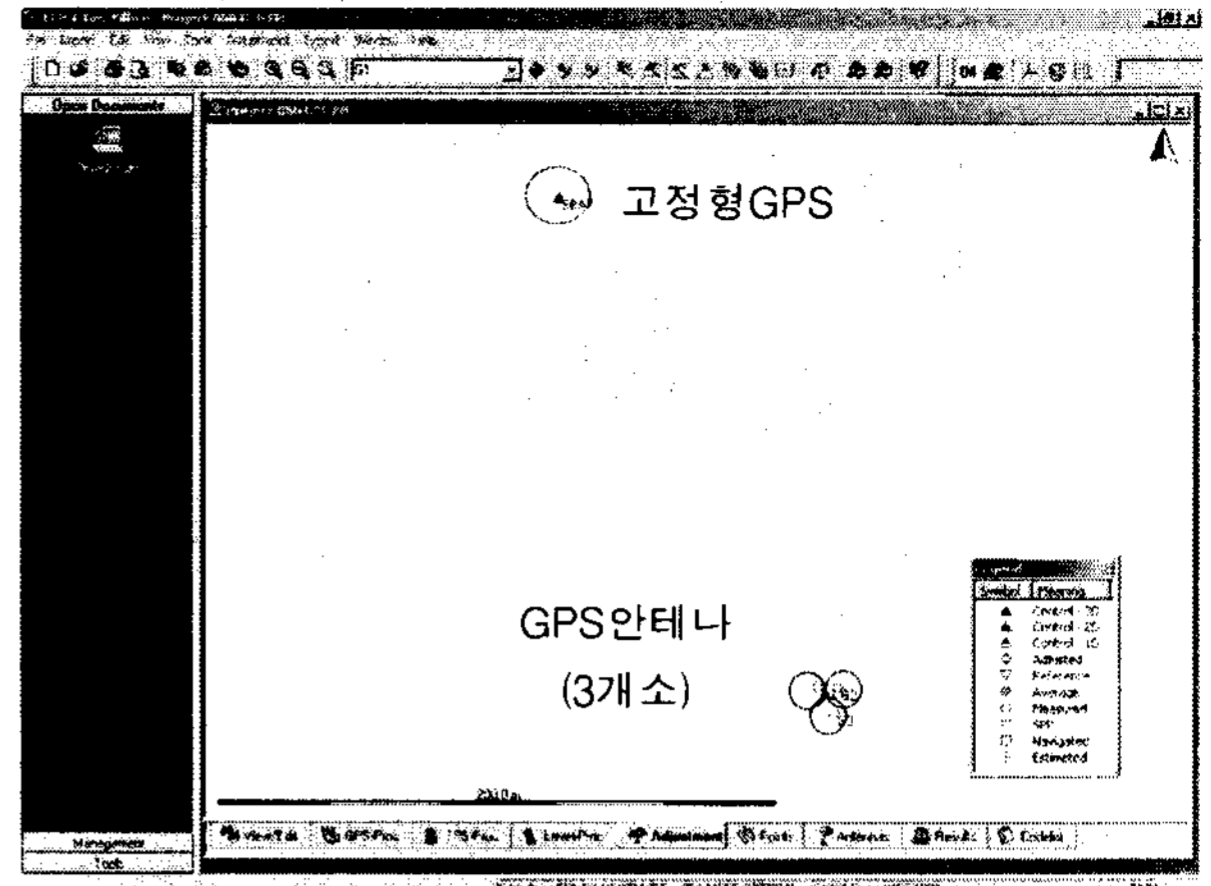


그림 19. 고정형 GPS 및 GPS 데이터 표시화면

GPS안테나의 위치 산정에는 대략 1시간 정도 소요되며 그 동안 Total Station Instrument(광파기)를 설치한 후 보조기준점의 위치를 측정하여 측량시간을 단축한다.

표 1. GPS안테나 위치 계산 예

구분	고정형 GPS	GPS 안테나 1번
Coordinates:		
X:	3289641.5919 m	3289660.8232 m
Y:	4746087.5392 m	4746278.3777 m
Z:	2698989.2834 m	2698876.0245 m

계산된 GPS안테나 좌표로부터 다시 Total Station (광파기)의 위치를 계산하면, 이후로는 광파기로 각 측량 보조점들의 좌표를 계산해 낸다.

이렇게 측정된 데이터는 바로 PC에 저장되어 통합 관리 된다.

그림 20. 측량 데이터 관리화면

4. 결론

GPS 측량 방법의 버저 두바이 현장 적용결과 그 정확성과 신속성에서 만족할 만한 성과를 거두고 있다.

(1) GPS 측량 기술과 기존의 측량 방법의 병용을 통해 고층부의 기준점 확인을 위한 시간과 노력을 단축 할 수 있었다.

(2) GPS 측량 기술을 통해 초고층 건물의 움직임을 계측하고 지속적인 보정을 통해 건물의 수직도를 확보할 수 있었다.

앞으로 Burj Dubai 현장에서의 적용성과를 바탕으로 더욱 정밀한 GPS 측량 시스템을 개발하고 적용방법을 개선하여 초고층 건축물의 정밀 시공을 위한 표준 측량 시스템으로의 정착이 필요하다고 하겠다.

Abstract

With the development of technology the Global Positioning System(GPS) measurement method which uses the artificial satellites to locate its position has been adopted in construction projects. Especially in civil engineering projects which have not any base points needed to measure their position they use the GPS measurement method has been put to practical use. But it was still difficult to use that method in building construction sites which require more accurate measurement data than the current GPS measurement method can provide. In this paper we introduce a new GPS measurement method adopted in Burj Dubai project which would be the tallest building in the world after its completion.
