

## 지상·지하시설물의 위치정보 신뢰성 분석

### Analysis of position accuracy of ground/underground facilities

손홍규<sup>1)</sup> · 한춘득<sup>2)</sup> · 김기홍<sup>3)</sup> · 손덕재<sup>4)</sup>

Sohn Hong Gyoo · Han Chun Deuk · Kim Gi Hong · Sohn Duk Jae

<sup>1)</sup> 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수(E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)

<sup>2)</sup> (주)한국해양과학기술 이사(E-mail:kosecgps@korea.com)

<sup>3)</sup> 연세대학교 산업기술연구소 Post-Doc(E-mail:sfmacho@yonsei.ac.kr)

<sup>4)</sup> 대전대학교 토목공학과 교수(E-mail:djsohn@road.daejin.ac.kr)

#### Abstract

In mid-90's, the Korean government introduced the GIS(Geographic Information System) to digitalize every topography of national land and thereby, index locations and attributes of various urban facilities to construct a system whereby every information could be managed and operated in an integrated way, but the reliability of such geographic information has yet to be tested, much less its modification, complementation and maintenance.

Under such circumstances, this study was aimed at constructing a reference point infrastructure for Seoul and Kyonggi area and comparing the data obtained from the GPS operation and various facility location data with the existing GIS data to address the problems of GIS operation and suggest their solutions.

As a result of calculating the GPS reference point data and analyzing the deviations of the unknown point data in comparison with the fixed point ones, it was found that the horizontal location values were reliable within +/- 5cm, but that the above-sea level values varied as much as 1.4m depending on the deployment of pre-set fixed points determined by the direct level gauging. In addition, as a result of directly surveying major facilities around the roads based on the coordinates of the urban reference points networked with such a reference point system to check their conformity to existing data, it was confirmed that the difference was as wide as 2m. Such differences may be attributable to the fact that the data with their geographic information not confirmed are used as basic data for GIS. Hence, this study suggests the ways to set the absolute geographic data based on reference points and test the reliability of existing data and thereby, suggests a methods to solve the problems.

## 1. 서 론

복잡하고 좁은 도시공간에 매설된 각종 지하시설물(상·하수도, 가스, 전기, 통신등)의 도면제작은 국토지리정보원이 국가지리정보체계(National Geog-raphic Information System: NGIS)계획에 따라 항공사진촬영에 의해 제작한 축척 1/1000수치지형도면을 시설물관리기관인 지방자치단체 및 공공기관이 제공 받은 후, 해당 지상 및 지하시설물의 위치(X,Y,H)를 조사 및 측량하여 제공받은 도면에 이기 또는 투영하여 지하시설물도면을 작성하고, 데이터베이스화하는 작업을 통해 이루어지고 있다. 따라서 현재 지하시설물도의 기본도인 1/1000 수치지도의 정확도는 구축되는 지하시설물의 신뢰성에 많은 영향을 주고 있다. 국토지리정보원이 1998년 시범지구 3곳을 선정, 작성된 수치지도의 정확성 평가에 관한 연구에서는 평균오차가 ±66cm 로 제시된 바 있다(최윤수, 2001). 더불어 기본도(축척 1/1000수치지형도면)제작을 위한 항공사진 촬영시기와 지하시설물도 작성을 위한 조사·측량 시기가 일치하지 않아 변화하는 도시공간의 도로와 인도경계나 주변의 구조물 등에서 조사대상 시설물까지 거리 및 방향을 측정하여 지상·

지하시설물의 위치를 기본도에 이기하는 종전의 지하시설물도 작성방법에서는 정확도확보가 여의치 못할 것이며, 또한 이러한 문제점에 대한 뚜렷한 방향제시와 구체적이고 현실성을 고려한 명확한 작업규정도 미비한 현실에서 지하시설물 관련기관마다 독립된 데이터베이스 구축작업으로 인하여, 향후 정부가 지향하는 정보공유 계획에 따라 이들 데이터들을 통합하는 지상·지하시설물 도면제작을 컴퓨터상에서 수행할 때, 각기 독립적으로 조사·측량된 지상 및 지하시설물간의 상대위치(이격거리 및 방향) 정확성에는 많은 문제점이 발생하고 있다.

본 연구에서는, 국가2,3등기준점(1998년 이후 고시된 기준점)과 수준점을 기지점으로 한 GPS관측망에 따라 좌표가 결정된 도시기준점으로부터 측량장비를 활용한 직접측량에 의해 연구대상 지상·지하시설물의 위치를 절대개념의 좌표화로 함과 함께 도시기준점의 GPS관측데이터와 3차원 지구중심좌표체계를 연결한 망평균계산을 실행하여, 각 기준점에 3차원 좌표를 취득하게 함으로써 모든 기준점에서 평면직각좌표계(X,Y)와 평균해수면상(Main Sea Level: MSL)의 표고(H)로 표시하는 종전의 위치기준에서 GPS관측에 따른 지구중심 3차원 좌표계(X,Y,Z)와의 공유체계를 점검하고, 취득된 지상·지하시설물의 위치를 기본도면인 1/1000 수치지도에 투영하여 기본도면상에서 취득데이터와의 부합여부를 검토·분석하여 문제점을 표출함으로써 GIS에서 가장 중요한 위치정보의 정확성확보와 향후 통합된 도면제작 및 유지관리에 적정한 위치측정 과정과 절차를 제시하고자 하였다.

## 2. 자료취득

### 2.1 자료 취득의 개요

광범위지역에서 도시공간에 산재된 제반시설물에 대한 위치정보를 취득하려고 할 때 기준점체계 인프라 구축작업의 선행필요성은 기준점을 활용한 위치정보의 정확성증대를 도모하기 위함이며, 이러한 기준점에는 좌표의 절대성, 주변 고시된 국가기준점(2,3등 기준점 및 수준점)과의 좌표와 표고연결성 및 편차의 등분포, 향후 활용과 유지관리를 위한 적정배치간격 등의 기본조건이 형성되어야 한다. 그리고 이들 기준점을 근거한 각종시설물 등의 공간상 위치를 GPS, 토탈스테이션, 수준의와 같은 측량장비에 의해 직접측량방법으로 수치화된 위치정보를 취득하게 함으로써, 정보의 신뢰성과 활용의 효용성 그리고 편의성이 모색된다고 할 수 있다.

본 연구에서 활용된 데이터의 취득과정은, GPS관측과 망평균계산, 그리고 수준측량에 의해 기준점의 위치가 결정되었고, 이들을 기준하여 시설물 등의 측량이 용이한 지점에 표시된 TP점의 위치를 트래버스 측량과 수준측량에 의해 결정하였다. 각종 시설물(도로와 인도경계선, 맨홀, 전주와 신호등, 도로전면건축선 등)의 위치측량은 선행작업에서 그 위치가 결정된 기준점 및 TP점을 기준, 토탈스테이션 측량장비에 의해 데이터를 취득하였다. 신속하고 정확성이 요구되는 도시공간의 시설물위치를 수치화된 데이터로 취득하기 위한 측량방법에는 실시간 GPS측위(RTK GPS:Real Time Kinematic GPS)와 토탈스테이션에 의한 측위기법 등이 있으나, 전자는 시계가 넓고 위성수신장애가 없는 개활지와 같은 곳에서는 그 활용성의 효과가 증대되나 복잡한 도시공간에서는 관측지점과 인접한 건물 등으로 인하여 수신위성수의 감소, 다중경로에서 오는 정보취득 장애와 같은 단점이 있어, 기준점에서 목표물까지 직접측량으로 방향과 거리를 측정하여 좌표화하는 토탈스테이션에 의한 측량이 적절하다고 판단된다.

### 2.2 도시기준점의 GPS 관측망 구성과 좌표계산

대상지역은 도로정비와 건축물의 신축·증축공사가 빈번하여 현황의 변화가 많은 서울시, 인천시, 안양시 일원의 변화한 대로주변으로 먼저 전 지역을 단일 망으로 하는 GPS보조기준점망을 구성, 각 측정점에서 GPS관측장비에 의해 취득된 데이터를 기초한 정밀망평균계산 절차에 따라 보조점의 좌표를 결정하였다. 이때, 평면직각좌표계산에서 위치기준은 정밀측량에 의해 좌표가 결정고시된 2,3등기준점과 관측대상지역주변에 설치·고시되어 있는 수준점(BM:Banch Mark)으로부터 직접측량에 의해 표고(H)가 결정된 보조점을 평면위치(X·Y)와 표고(H)의 기지점(고정점)으로 하였다.

이전에 관측망평균계산시 관측오차를 무리 없이 배분하고 정확도를 높이기 위하여 관측망도형이 정삼각형에 가깝도록 보조점 위치가 선정되었으며, 관측세션계획에 따라 GPS에 의한 정밀2차기준점측량에서 정하는 규정과 절차를 적용하여 GPS관측은 수행되었다.

GPS관측데이터는 국토지리정보원경내의 VLBI점과 연결 관측된 성동24(2등 기준점)기지점을 기선해석시점으로 한 순차적인 해석에 의해 처리한 후, 지구중심좌표계인 WGS-84좌표와 Bessel좌표계인 평면직각좌표 순으로 각 보조점의 위치를 계산하였다. 평면직각좌표계산시에는 전체관측망에 분포된 평면위치11점, 표고14점의 기지점(고정점)중에 일부점(2점 또는 4점)고정과 전체 기지점 고정으로 유형별 망평균 계산을 수행하여 기지점의 변경에 따른 구하는 점(보조점) 좌표 값의 변화크기와 방향을 비교·분석하였다. 이와 같은 과정으로 전지역에 고르게 분포된 보조점의 정확한 위치를 결정한 후, 이들을 기준하여 시설물의 위치 및 현황측량 등에 기준점으로 활용될 도시기준점(도로변 등에 일정간격으로 설치)과의 그림3.2의 예와 같은 단위별 관측망을 구성하고 GPS관측, 데이터처리, 좌표를 구하기 위한 망평균계산 순으로 수행되어, 도시기준점의 위치를 결정하였다.

GPS 위성은 고도각 15°이상에 최소 4개 이상이 수신되는 시간대를 선정하여 관측을 수행하였으며, 관측망 구성 및 관측방법은 그림 3-3과 같이 기지점인 국가2·3등기준점과 보조기준점을 연결한 후, 1차 관측을 GPS 8대를 동시관측 조합으로 한 4시간 연속관측에 데이터 취득간격을 30초로 하여 보조기준점의 위치를 결정하고, 도시시설물 등의 위치기준으로 활용할 도시기준점측량은, 인접한 보조기준점 및 국가기준점을 network로 구성하여, GPS 6대를 동시관측 조합으로 한 2시간 연속간격에 데이터 취득간격 30초로 GPS 관측을 수행하였다. 이때, 지구내 설치되어 있는 국가수준점과 전체 도시기준점을 결합하는 직접 수준측량을 실시, 도시기준점의 정확한 표고(H)를 결정하여 GPS데이터에 의한 Bessel 망평균계산에서 수직위치의 고정점 성과로 사용하였다.

관측점 사이에 기하학적 위치를 결정하는 기선해석은 국토지리정보원내에 설치된 VLBI 관측점을 기초좌표로 하여 GPS 1차관측망(보조기준점망)에서 기지점인 2등기준점(성동24)을 시작으로 순차해석하였다. 기선해석된 데이터는 데이터의 폐합차와 세션간 교차 및 중복변에 대한 교차성분을 확인, 검토하여 관측된 GPS 데이터의 신뢰성을 점검한 후 망평균에 의한 좌표계산을 실시하였다. 계산은 1차 GPS 관측망(보조기준점망)과 2차 GPS 관측망(도시기준점망)을 분리하여 각각 3차원 지구중심좌표와 평면직각좌표(Bessel좌표계)를 산출하였다.

### 2.3 지하시설물 측량

도로구역내의 지하에 설치된 관로의 배관방향을 따라 관측장비를 활용 전자유도방식에 의한 중방향관측을 수행하였으며, 관측밀도는 직선부에서 5m이상 곡선부에서는 1m이내의 간격으로 조밀하게 관측을 하여 20m간격으로 일련번호와 그 사이에는 거리에 따라 위치번호를 부여하였다.(예: 측점 3+14.5) 그리고 모든 측점은 표시못과 페인트로 도로면 등에 측점번호와 함께 표시하였다. 관측작업에 투입된 장비는 표 1과 같다.

표 1. 사용된 관측장비

장비명	제조사	규격	성능	비고
금속관로탐지기	Radiodecteon	RD400PXL2	평면: ±5% 심도: ±5%	전자유도방식
금속관로탐지기	Takachiosangyo	MPL-H7Le	평면: ±5% 심도: ±10%	전자유도방식

관측장비에 의해 표시못과 페인트로 도로면 등에 표시된 지점과의 시통이 가능하고 측량장비(Total

Station: TS)설치와 관측이 용이한 지점에 TP점을 설치하고 GPS와 수준측량에 의해 결정된 도시기준점과 그 사이에 있는 이들 TP점을 그림 3.4와 그림 3.5의 예와 같이 TS와 LEVEL 장비에 의한 결합 TRAVERSE측량과 수준측량에 의해 각 TP점의 위치(X,Y,H)를 결정하고, 이들 TP점에서 도로면 등에 표시된 지하매설물의 관측지점과 주요시설물 등의 위치를 측량하여 각기 표시된 관로매설 지점의 좌표를 결정하였다.

### 3. 자료처리 및 분석

본 연구에서는, 공인·고시된 국가기준점(2·3등기준점)과 보조기준점을 net work으로 연결한 1차 GPS관측망과 보조기준점과 도시기준점을 network으로 연결한 2차 GPS관측망으로 분리하여 관측·계산 하였다. 1차 GPS관측망에는 주변에 있는 고정점(2·3등기준점)을 2점, 4점, 전체 2등기준점(11점)으로 각기 다르게 고정시킬 때 미지점 좌표가 변화하는 량과 방향을 검토하였다. 2·3등기준점과 직접수준측량으로 연결된 보조점을 기지점으로의 고정여부에 따라, 가장 크게는 평면위치(X,Y)는 3cm, 표고(H)는 미터단위의 비교차를 나타내며 이것은 광역지역에서 GIS를 위한 도시기준점을 설치할 때 기지점(고정점) 사용의 중요성을 보여주는 것으로써, GPS관측 망평균계산에서는 항상 본 계산이 들어가기전에 재현계산을 실행하여 사용 기지점의 신뢰성이 먼저 확보되어야 한다.

급변연구에서 활용된 GPS관측데이터로 서울, 경기일원의 국토지리정보원이 고시한 국가2·3등기준점의 신뢰성 검토·분석에서는 평균오차 3cm이내의 높은 정확성을 확인할 수 있었다. GPS에서 표고(H)의 결정은 고정점의 밀도 및 간격과 배치에 따라 미지점에 대한 계산 표고값이 많이 변화되며, 고정점에서 미지점의 위치가 멀어질수록 진차와 차이의 양이 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 평균해수면상의 높이를 기준하는 우리나라에서 GPS를 활용하여 정확한 표고를 결정한다는 것은, 아직도 우리나라 지오이드 모델링 취득이 완벽하지 못한 현실에서 앞으로 많은 연구·개발이 도모 되어야 할 것이다.

본 연구에서는 관로관측 작업을 수행하기에 앞서 비교적 작업이 용이한 2개 지역을 시범 관측구간으로 선정하고 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 2기종의 관측장비(RD400PS L2, MPL-H7LE)에 대하여 표 2와 같이 그 성능을 비교·검토 하여보았다.

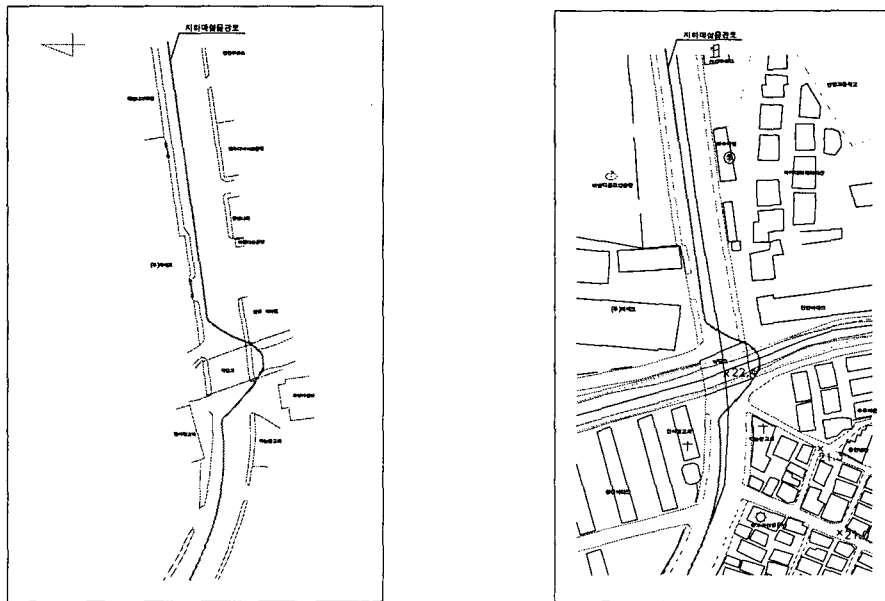
표 2 관로 관측위치 분석표 (단위 m)

관측번호	지하시설물도(최근접점)			현지관측(MPL-H7LE)			차 이		현지관측(RD400)			차 이	
	위 치		심도	위 치		심도	중심선 이격거리	심도	위 치		심도	중심선 이격거리	심도
	X	Y		X	Y				X	Y			
1	447382.227	207593.729	2.10	447382.418	207593.724	2.10	0.191	0.000	447382.418	207593.724	2.60	0.191	0.500
2	447380.877	207605.366	2.51	447380.880	207605.366	2.40	0.003	0.110	447380.880	207605.366	2.90	0.003	0.390
3	447380.493	207614.663	2.26	447380.398	207614.671	2.20	0.095	0.060	447380.398	207614.671	2.60	0.095	0.340
4	447380.078	207626.622	1.77	447380.088	207626.615	1.90	0.012	0.130	447380.088	207626.615	2.10	0.012	0.330
5	447379.361	207637.584	1.84	447379.300	207637.596	2.00	0.062	0.160	447379.300	207637.596	2.00	0.062	0.160
6	447378.694	207645.162	1.94	447378.471	207645.157	1.90	0.223	0.040	447378.471	207645.157	2.20	0.223	0.260
7	447377.140	207654.083	2.00	447377.038	207653.884	1.90	0.224	0.100	447377.038	207653.884	2.00	0.224	0.000
8	447375.063	207659.128	1.40	447374.977	207659.030	1.70	0.130	0.300	447374.977	207659.030	1.80	0.130	0.400
9	447364.547	207673.990	5.40	447364.312	207673.899	2.20	0.252	3.200	447364.312	207673.899	2.40	0.252	3.000
10	447360.166	207680.622	4.86	447360.210	207680.658	3.50	0.057	1.360	447360.210	207680.658	4.30	0.057	0.560
11	447347.097	207698.838	3.00	447346.973	207698.754	2.70	0.150	0.300	447346.973	207698.754	2.80	0.150	0.200

국가기준좌표계에 근거하여 설치·측량된 도시기준점에서 측량장비(TS 및 수준의)를 이용한 시설물 및 주변현황측량으로 취득된 데이터를 기본도면(1/1000수치지형도)에 투영하여 나타난 문제점을 분석·검토하였다.

지역은 서울시와 인천시 일대의 도시시설물이 밀집된 간선도로에서 도로정비와 건물신축·증축공사가 잦은 곳을 각 구별로 1개 지점을 선정하여, 실측된 현황데이터를 시설물도 제작 등에서 기본도면으로 활용되고 있는 수치지형도상에 중첩시켜, 도로의 폭 비교와 도상에서 구조물코너 등의 구분이 명확한 지점에 대한 절대성좌표의 검증작업을 수행하였다.

그림 1에서의 비교를 통해 도로폭의 비교차는 +0.5m~-1.2m, 시설물코너 등의 명확한 지점의 좌표(X,Y)비교에서는 최대 2.1m 정도의 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 기본도 제작과정 당시의 기준점 좌표 값과 현재의 변경고시(1998년 이후)된 국가기준점 좌표 값이 상이한 관계로 해석할 수 있으나, 도로의 폭, 도로전면에 있는 구조물과 도로경계선과의 이격거리의 비교차이에서 통상적인 오차개념으로 볼 수 없는 많은 양의 차이로 보아, 현재 데이터베이스구축이 완료된 도면 또는 그 위에 정리된 각종 속성 정보 등을 향후 신규 또는 수정·보완되는 기본도면체계로 변환 및 전환하는 것에 문제점이 발생할 수 있음을 예견할 수 있다.



(a) TS에 의한 현황측량

(b) 수치지형도에 지하매설물입력

그림 1. 수치지형도와 현황측량도의 비교

#### 4. 결 론

GPS관측망평균계산에서 국가2·3등기준점의 고정변화에 따른 전체관측점의 평면위치(X,Y)의 변동량은 약 0.05m이내이며, 표고(H)는 국가수준점을 기초한 직접수준측량에 의해 높이가 결정된 고정점의 배치형태와 구하는 점과의 거리량에 따라 변동량 폭이 최대 1.4m까지 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통하여 1998년 이후 고시된 서울·경기 일원 국가기준점의 신뢰성이 확인됨과 함께 GPS를 활용한 표고(H) 결정시는 요구정확도에 따라 직접수준측량에 의해 높이가 결정된 표고고정점의 밀도증가와 그리고 적절한 배치형태가 선행 결정되어야 함을 확인할 수 있었다.

직접측량에 의해 취득된 시설물 등의 데이터를 기본도면에 투영(19개지점선정)할 때 도로폭의 비교차는 +0.5m-1.2m, 시설물코너 등의 명확한 지점의 좌표(X,Y)비교에서는 최대 2.1m 차이를 나타내었다. 지상·지하시설물도작성을 위한 기본도면으로 사용하기 위해 제작된 축척 1/1000수치지형도의 제작단계에서 현지확인을 통한 신뢰성검증이 미비하였던 것으로 판단된다. 이와 같은 경우 시간적인 여건상 GIS 작업진행이 불가피 하다면 본 연구 과정에서 수행한 데이터 취득방법과 같이 도시기준점 등에 기초한 지하관로 및 시설물등의 위치를 직접측량 방식에 의해 취득하고 이때 도로주변의 경계선, 도로전면의 건물형태, 맨홀 및 전주 등의 각종 시설물의 현황을 수치도면화 하여 여기에 기준하여 GIS 관련 작업을

수행, 향후 신규 또는 수정된 기본도면이 제공되면 기록된 모든 수치데이터를 새로운 도면으로 투영시켜 재정비하는 방법을 이용하여야 한다.

## 참고문헌

국토지리정보원 (1995), 수치지도작성 작업내규

문두열, 이용희, 신병철 (2002), GPR 매설물 검출능력 측정에 관한연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제20권, 제1호, pp. 77-83.

박경식, 임인섭, 최석근등, (2001), 수치지도일반화 위치정확도 품질평가, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제2호, pp.173-181.

박경식 이현직, 함창학, (2003), 시설물측량에서의 무프리즘 토달스테이션 활용성연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제2호, pp.155-164.

손호웅, 이강원, 김형수 (2003), 고심도지중매설물의 지하측량을 위한 비파괴 정밀전자측량, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권, 제2호, pp.109-121.

유복모 (2003), 지형공간정보공학, 동명사

윤홍식, 황진상 (2001), GPS상시관측소의 절대좌표 산정에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제4호, pp.415-423.

최윤수 (2000), 지하시설물도 전산화사업 성과분석 연구, 국토연구원